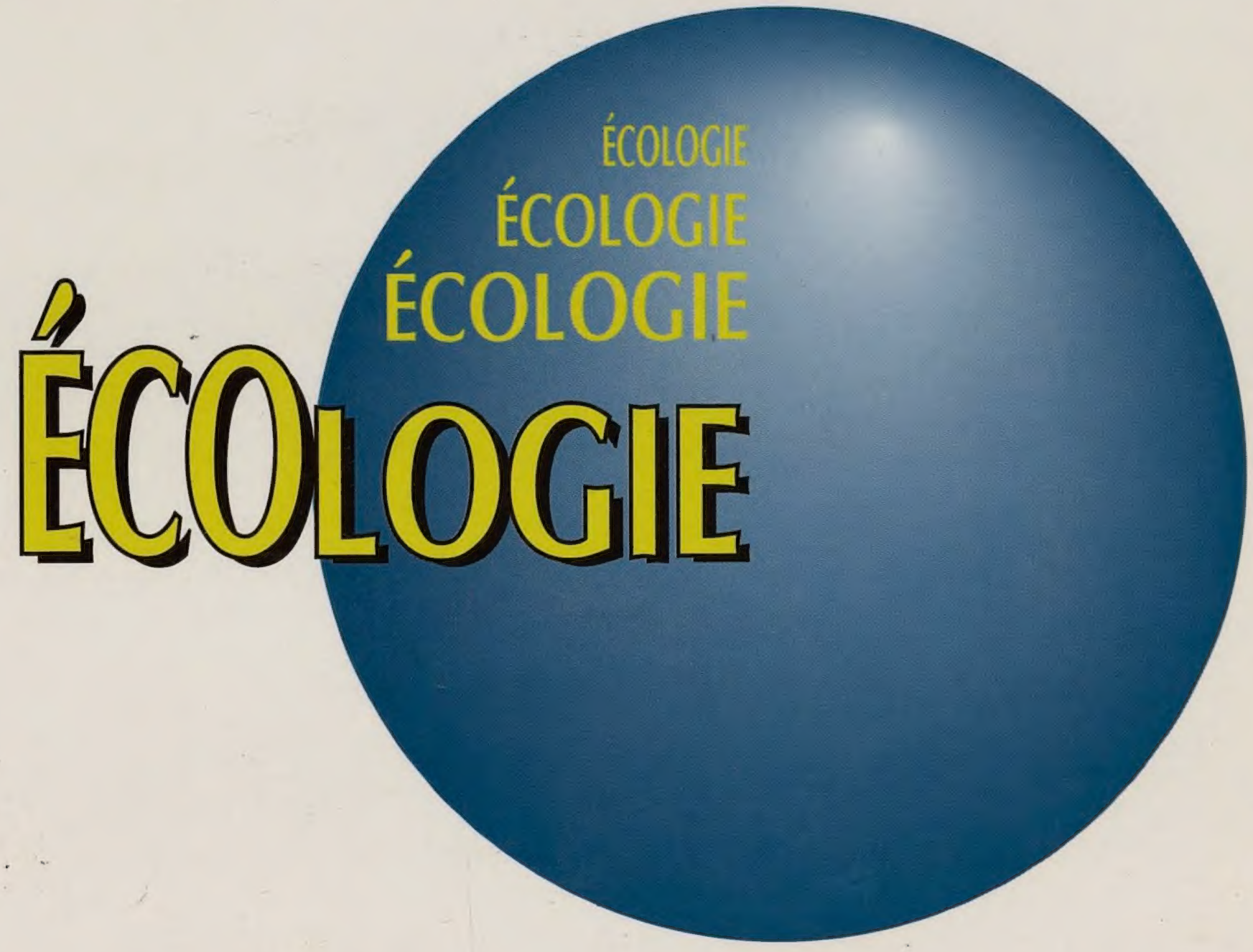
R 3835

Revue Trimestrielle
Tome 26 – Fascicule 2
Juin 1995



SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'ÉCOLOGIE

Association reconnue d'utilité publique

ISSN 1259-5314

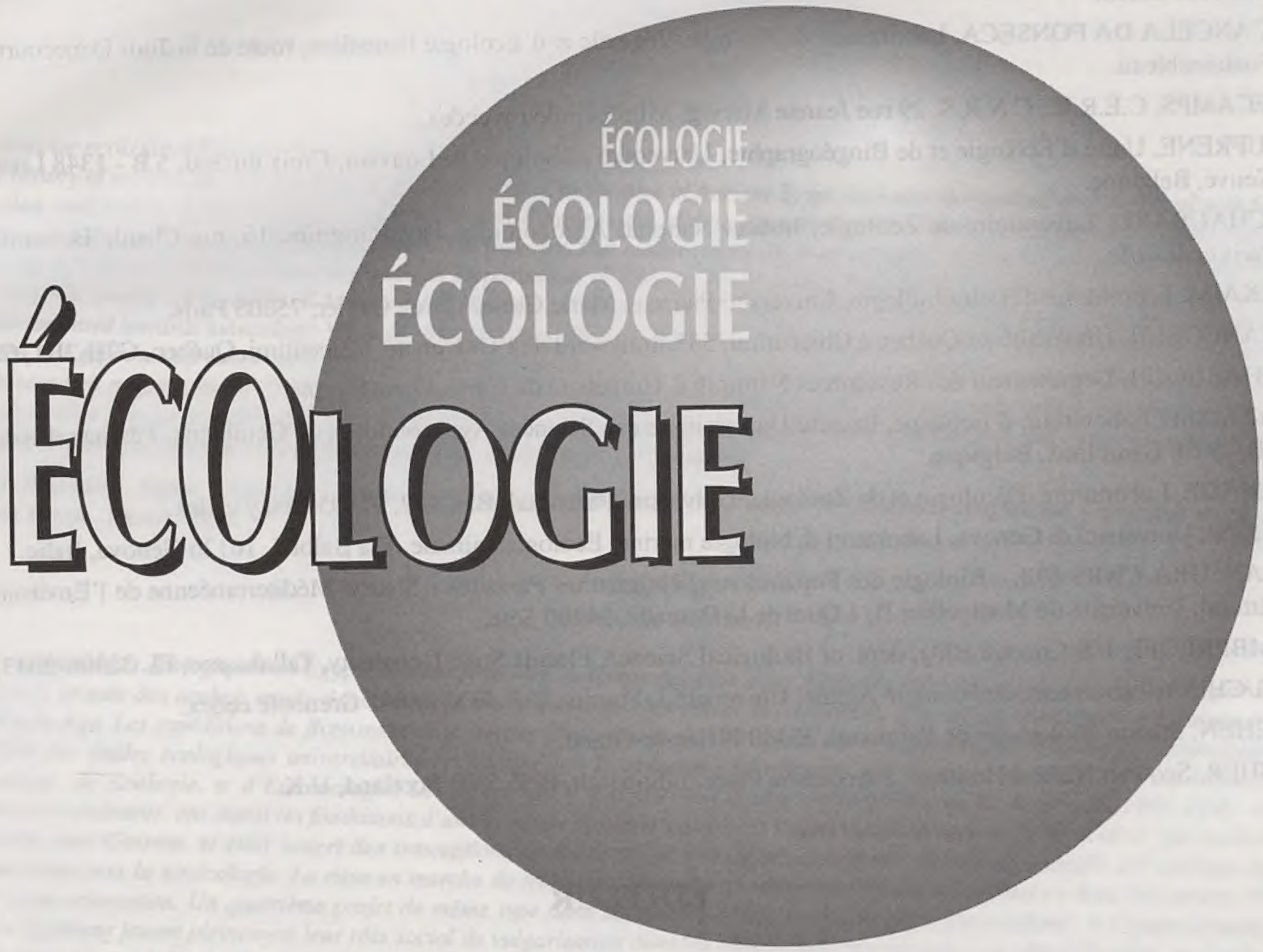
1 8 DEC. 1995

Source : MNHN

Source : MNHN

Rx 3835

Revue Trimestrielle
Tome 26 – Fascicule 2
Juin 1995



SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'ÉCOLOGIE
Association reconnue d'utilité publique

ISSN 1259-5314

BIBL. DU MUSÉUM PARIS

Bibliothèque Centrale Muséum
3 3001 00041569 4
Source : MNHN

ÉCOLOGIE

REVUE DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'ÉCOLOGIE

COMITÉ ÉDITORIAL

J.-C. AMIARD, Service d'Ecotoxicologie, Université de Nantes, 1 rue Gaston Veil, 44035 Nantes cedex.

F. ATHIAS-BINCHE, Laboratoire Arago, 66650 Banyuls-sur-Mer.

M. BARBERO, Biosystématique et Ecologie Méditerranéenne, Université de Provence, case 461 bis, Avenue Escadrille Normandie Niemen, 13397 Marseille cedex 13.

D. BELLAN-SANTINI, Centre d'Océanologie de Marseille, Station Marine d'Endoume, rue Batterie des Lions, 13007 Marseille.

F. BLASCO, ICIV - Institut de la Carte Internationale de la Végétation - 13, avenue du Colonel Roche, BP. 4403, 31405 Toulouse cedex.

J.-P. CANCELA DA FONSECA, Laboratoire de Biologie Végétale et d'Ecologie Forestière, route de la Tour Dénecourt, 77300 Fontainebleau.

H. DECAMPS, C.E.R.R., C.N.R.S. 29 rue Jeanne Marvig, 31055 Toulouse cedex.

M. DUFRENE, Unité d'Écologie et de Biogéographie, Université catholique de Louvain, Croix du Sud, 5 B - 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

M. ECHAUBARD, Laboratoire de Zoologie, Institut National Agronomique Paris-Grignon, 16, rue Claude Bernard, 75231 Paris cedex 05.

B. ELKAIM, Laboratoire d'Hydriobiologie, Université Pierre et Marie Curie, 12 rue Cuvier, 75005 Paris.

A. FRANCOEUR, Université du Québec à Chicoutimi, 555 Boulevard de l'Université, Chicoutimi, Québec, G7H 2B1, Canada.

S.I. GHABBOUR, Département des Ressources Naturelles, Université du Caire, Giza, Egypte.

F. MALAISSE, Laboratoire d'Ecologie, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Passage des déportés, 2B - 5030 Gembloux, Belgique.

F. RAMADE, Laboratoire d'Écologie et de Zoologie, Université Paris-Sud, Bât. 442, 91405 Orsay cedex.

G. RELINI, Universitá di Genova, Laboratori di biologia marina, Ecologia animale, Via Balbi 5, 16126 Genova, Italie.

P. SILAN, URA-CNRS 698, « Biologie des Populations d'Helminthes Parasites » Station Méditerranéenne de l'Environnement Littoral, Université de Montpellier II, 1 Quai de la Daurade, 34200 Sète.

D. SIMBERLOFF, 109 Conradi Bldg, dept. of Biological Science, Florida State University, Tallahassee, FL 32306-2043, USA.

B. SOUCHIER, Laboratoire de Biologie Alpine, Université J. Fourier, B.P. 53X, 38041 Grenoble cedex.

P. TREHEN, Station Biologique de Paimpont, 35380 Plélan-le-Grand.

M. USHER, Scottish Natural Heritage, 2 Anderson Place, Edinburgh, EH6 5NP, Scotland, U.K.

ÉDITEUR

P. BLANDIN, Muséum National d'Histoire Naturelle, Laboratoire d'Écologie Générale,
4, avenue du Petit Château - 91800 Brunoy

COMITÉ DE RÉDACTION

P. BLANDIN, J.-P. CANCELA DA FONSECA, R. DAJOZ, L. PALKA

Muséum National d'Histoire Naturelle,
Laboratoire d'Écologie Générale,
4, avenue du Petit Château - 91800 Brunoy

Association Loi 1901 - reconnue d'utilité publique - ISSN 1259-5314 – TVA : FR 34 32 60 85 263 - SIRET 32 60 852 63 00019

Source : MNHN

Ecologie, t. 26 (2) 1995 : 67-80

HISTOIRE DE L'ÉCOLOGIE EN ÉGYPTE UN APERÇU

Samir I. GHABBOUR

Dépt. des Ressources Naturelles, Inst. de Recherches et d'Etudes Africaines, Univ. du Caire, 12613 Giza (Le Caire), EGYPTE

SUMMARY
(review paper)

HISTORY OF ECOLOGY IN EGYPT, A GLIMPSE

The history of ecological knowledge in Egypt must go back to the time of Ancient Egypt, and was reorganized and improved with Greek, Arab, Persian, and Indian additions, until it reached Western Europe in the Middle Ages. In the 19th century, NAPOLEON's expedition and subsequent explorations opened the door for much further improvement. But modern ecology as an academic study started with the establishment of the Faculty of Science of Cairo University, with its Departments of Botany, Zoology, and Entomology, in 1925. Eminent Professors such as V. LAURENT-TACKHOLM (1898-1978), K MANSOUR (1898-1986), and others, in the period 1925-1950, laid the foundations of a flourishing school, rather oriented towards autecology. When M. KASSAS arrived from Cambridge having obtained his Ph. D. in 1950 with GODWIN, ecological research in Egypt took up a new turn, oriented to synecology, as influenced by TANSLEY's concepts of the ecosystem. Three major multi-disciplinary research projects in the 1970's helped to establish the tradition of whole ecosystem studies, a trend which was further intensified by a fourth similar project in southern Egypt. At present, international cooperation in the fields of ecological and environmental research is helping the country to solve its environmental problems, giving hope for the future.

KEY WORDS : Egypt - Ecology - Botany - Zoology - Entomology - Soil fauna - International cooperation - Research projects - Delta - Upper Egypt - Desert - Nile.

RÉSUMÉ
(article de synthèse)

Les connaissances écologiques en Egypte doivent remonter au temps des Pharaons. Elles ont été réorganisées et améliorées par les apports des grecs, et puis des arabes, munis des connaissances acquises par les perses et les indiens, pour arriver finalement à l'Europe occidentale au Moyen-Age. Les expéditions de BONAPARTE et les autres explorations du 19ème siècle ont beaucoup aidé à enrichir ces connaissances. Mais le début des études écologiques universitaires est marqué par la création de la Faculté des Sciences en 1925, avec ses Départements de Botanique, de Zoologie, et d'Entomologie. Les efforts de V. LAURENT-TACKHOLM (1898-1978), de K. MANSOUR (1898-1986) et d'autres Professeurs éminents, ont établi les fondations d'une écologie plutôt orientée vers l'autécologie. L'arrivée de M. KASSAS, qui avait obtenu son Doctorat avec GODWIN, et était nourri des conceptions de TANSLEY sur l'écosystème, a donné un nouveau souffle à l'écologie égyptienne, l'orientation vers la synécologie. La mise en marche de trois grands projets de recherches multi-disciplinaires dans les années 1970 a renforcé cette orientation. Un quatrième projet de même type dans les années 1980, au sud du pays, l'a confirmé. A l'heure actuelle, les écologues égyptiens jouent pleinement leur rôle social de vulgarisation dans les études environnementales, de sensibilisation, et d'aide à la prise de décision etc., mais la coopération internationale demeure toujours essentielle.

MOTS CLÉS : Egypte - Écologie - Environnement - Botanique - Zoologie - Entomologie - Faune du sol - Coopération internationale - Projets de recherches - Delta - Haute Egypte - Désert - Nil

DE L'ANTIQUITÉ AU MOYEN ÂGE

Les débuts de l'écologie en Égypte remontent probablement aux prêtres de l'Ancienne Egypte, notamment ceux de l'Université disparue d'Oun, au nord du Caire actuel. Cette Université a joué le rôle de l'Alma Mater pour de nombreux étudiants grecs, parmi lesquels on peut citer : THALES de MILET, SOLON, PLATON et ARCHIMEDE. De cette période, il ne reste que quelques papyrus mais qui montrent de manière assez éloquente la profondeur des connaissances de ces anciens prêtres. Plus tard, ces connaissances furent organisées et développées en Grèce, par des savants comme HIPPOCRATE, puis à l'ancienne Université d'Alexandrie, qui a hérité celle d'Oun, où des savants illustres comme GALIEN, THÉOPHRASTE, et PTOLÉMÉE ont poursuivi des travaux pratiques avec la même énergie et rigueur que pour les travaux théoriques. A cette époque, le médecin était à la fois le pharmacien, le botaniste, et dans une certaine mesure,

* Manuscrit reçu le 24 avril 1995 ; version révisée et acceptée pour publication le 9 octobre 1995

Source : MNHN

l'écologue, car il devait savoir où et comment poussaient les plantes qu'il devait utiliser pour la guérison de ses malades.

A l'époque arabo-musulmane, et à partir du 8ème siècle, ces connaissances furent une deuxième fois organisées et augmentées grâce aux contacts des civilisations perse, indienne, et chinoise, transmises jusqu'à l'Andalousie, et de là, à l'Europe occidentale. Pour marquer l'apogée de cette époque, il suffit de citer le nom d'AVICENNE, dont les connaissances scientifiques furent la base de la pratique médicale pour le monde civilisé durant le Moyen Âge, et longtemps après. De même, on peut aussi citer AL-GHAFIQI et IBN AL-BITAR, d'un niveau scientifique comparable, mais probablement moins connus en Occident, pour la pharmacie aussi bien que pour l'agronomie, inspirée par les pratiques nabatéennes de l'aridoculture, et appliquée avec grand succès au Moyen Âge au Maghreb et en Andalousie. C'est ainsi qu'on peut comprendre l'origine de la richesse des connaissances de la médecine populaire et des herboristes du Moyen-Orient, dont le métier utile persiste jusqu'à nos jours. En outre, le calendrier copte, qui donne les conseils à suivre pour chaque jour du cycle annuel, pour l'aménagement des ressources naturelles à des fins économiques, est soigneusement utilisé jusqu'à présent par les paysans, les pêcheurs et les pasteurs de l'Egypte, ceux dont les activités sont directement liées aux conditions de l'environnement naturel. Ce calendrier, qui date formellement de l'an 284 de notre ère, n'est effectivement que le receptacle populaire de ces connaissances écologiques vernaculaires et millénaires. Mais, hélas, ce type d'almanach (le mot est d'origine arabe), tend à être négligé et oublié avec l'expansion de l'urbanisation, puisque les gens ne s'intéressent qu'au bulletin météorologique officiel, limité aux prévisions des pluies et de la température.

DU MOYEN ÂGE A LA PREMIÈRE MOITIÉ DU 19ÈME SIÈCLE

Durant le Moyen-Âge, les scientifiques arabes ont publié plusieurs ouvrages très bénéfiques pour l'avancement de la science à cette époque, y compris les sciences de la nature, principalement la médecine. Ils ont traduit, amélioré et synthétisé les connaissances des grecs, des perses, des indiens, des chinois, des slaves et des turkmens d'Asie centrale, des malésiens et des indonésiens du sud-ouest asiatique, des peuls de l'ouest du Continent africain, en un seul corps, imparfaitement cohérent peut-être, mais du moins compréhensible. Avec les caravanes qui convergeaient de ces pays vers les grandes capitales du monde arabo-musulman, emmenant avec elles les richesses à la fois matérielles et intellectuelles, on peut comprendre comment Le Caire était devenu un centre, où s'accumulaient les différentes connaissances de ce vaste monde hétéroclite, dont les parties étaient toutefois étroitement liées par le commerce.

La première flore quasi-scientifique, certes non-linnéenne, publiée pour l'Egypte à la fin du Moyen Âge, fut probablement celle de PROSPER ALPIN, dont le voyage en Egypte (1581-1584) avait été financé par le Doge de Venise pour trouver de nouvelles plantes commercialisables (de FENOYL 1980). Ce n'était effectivement qu'une autre tentative dans la série d'expéditions expressément organisées par les puissances mercantiles pour l'exploitation systématique de la "biodiversité" des pays étrangers ; mais celle-ci en particulier n'était peut-être qu'une tentative désespérée pour faire face à la concurrence des pays de l'Europe occidentale qui venaient d'avoir accès aux richesses des Amériques.

KASSAS (1981), qui a donné un aperçu de l'histoire de l'écologie végétale en Egypte pour l'époque moderne, considérant qu'on ne peut guère avoir une bonne écologie sans avoir d'abord une bonne taxinomie, estime que les conditions qui ont permis les vrais débuts de l'écologie en Egypte sont liées à la parution de la première flore, organisée suivant le système de LINNÉ, et publiée par son élève danois FORSSKAL, en 1775, ainsi qu'aux collections faites pendant la campagne de BONAPARTE en Egypte, entre 1798 et 1801, et décrites par A. R. DELILE dans la Description de l'Egypte, en 1809 et en 1812.

Toujours au 19ème siècle, quelques années après l'expédition de BONAPARTE, la création de l'Ecole de Médecine au Caire par le français CLOT BEY en 1826, suscita un nouvel intérêt pour ré-inventorier les plantes médicinales connues et noter quelque chose sur leur écologie. L'enseignement de l'écologie à cette Ecole, jusqu'à la fin du 19ème siècle, faisait partie de la biologie et dépendait des ouvrages français de l'époque.

LA DEUXIÈME MOITIÉ DU 19ÈME SIECLE

Les études phytoécologiques proprement dites remontent à la deuxième moitié du 19ème siècle, où on peut reconnaître deux grandes traditions. La première est celle des grandes explorations et observations sur le terrain ; dont le pionnier le plus illustre en fut G.-A. SCHWEINFURTH, qui a publié un véritable trésor de 464 ouvrages (KEIMER 1926) sur un demi-siècle (1875-1925) d'explorations dans les déserts de l'Egypte et des pays voisins. Les explorations scientifiques qui ont accompagné les expéditions militaires des Khédives de l'Egypte en Afrique furent également importantes. La deuxième tradition est celle de l'écophysiologie, qui visait à comprendre les adaptations des plantes aux conditions du milieu désertique. Elle est illustrée par les travaux de G. VOLKENS, O. STOCKER et A. SEYBOLD, publiés entre 1887 et 1929.

L'écologie, comme science indépendante, n'existait pas avant 1866. Pourtant les illustres savants du 19ème siècle menèrent des recherches à caractère floristique et faunistique, accompagnées d'observations de nature écologique qui se

Source : MNHN

sont révélées très utiles pour la construction ultérieure d'une véritable écologie. Parmi de tels travaux, il faut noter ceux de MONGE, de BOISSIER, d'ASCHERSON, de SICKENBERGER, et de plusieurs autres, qui ont fourni les premiers éléments pour les recherches menées au 20ème siècle, et qui ont aussi donné vie à l'Institut d'Egypte, fondé par BONAPARTE, et reconstitué plus tard par les Khédives de l'Egypte. Ceux-ci ont également fondé la Société Khédiviale de Géographie en 1875 et la Société Khédiviale d'Agriculture vers 1880. La première Société servit comme base pour organiser les connaissances acquises à partir des expéditions faites en Afrique tropicale pour rechercher les sources du Nil, tandis que la seconde fut réservée aux grands propriétaires terriens pour aménager leurs propriétés, en appliquant les découvertes de J. von LIEBIG sur l'importance des engrais chimiques et de l'assolement. La Société mena des recherches standardisées sur l'assolement pendant plusieurs années et ses chercheurs finirent par conseiller, aux membres, vers 1890, d'adopter l'assolement avec un cycle de 3 ans plutôt qu'avec un cycle de 2 ans, car les rendements du premier cycle, à long terme, étaient supérieurs à ceux du deuxième. On peut considérer que ces expériences furent les premières de type écologique en Egypte, même si le terme "écologie", proposé très probablement en 1866, était peut-être peu ou pas connu, et bien que les expériences concernèrent des agrosystèmes, évidemment plus importants que tous les autres écosystèmes du pays. Ce qu'on peut appeler l'écologie "appliquée" fut plus précocement pratiquée, durant le dernier quart du 19ème siècle, que l'écologie "théorique", et ne débuta qu'en 1925, avec la création de la Faculté des Sciences.

La Société Khédiviale d'Agriculture, depuis sa création, avait réservé une parcelle de terre arable à Bahteem, à quelques kilomètres au nord du Caire. Cette parcelle fut cultivée sans interruption, sans l'apport d'engrais, pour suivre la fertilité naturelle du sol uniquement avec les résidus des cultures, à la manière d'une expérience contemporaine et semblable à Rothamsted, en Angleterre. Malheureusement cette expérience centenaire a été récemment supprimée, faute de terres arables proches de la capitale, raison du besoin croissant de cultiver la plus grande superficie, de manière conventionnelle, avec le rendement le plus élevé, même à court terme.

Pour l'écologie animale, l'histoire n'est pas différente. La nomenclature binomiale de LINNÉ énoncée au milieu du 18ème siècle suscita un intérêt pour la collecte des animaux comme elle le fit à l'égard des plantes. BUFFON donna plusieurs exemples sur les animaux de l'Egypte dans son Traité d'Histoire Naturelle. SAVIGNY publia la partie sur les animaux dans la Description de l'Egypte en 1811 et en 1826. Le 19ème siècle fut marqué par des explorations zoologiques comme il le fut pour la botanique. Comme exemple, on peut citer les travaux du français PERRIER sur la faune de la Mer Rouge.

LA PREMIÈRE MOITIE DU 20ÈME SIÈCLE

UNE MODERNISATION DE LA FLORE DE L'ÉGYPTE...

Les travaux scientifiques sur l'écologie végétale n'ont effectivement pris un nouveau tournant qu'avec la création de la Faculté des Sciences en 1925, au sein de l'Université du Caire, et avec l'arrivée, la même année, des premiers Professeurs européens à qui fut confiée la charge de l'enseignement et de la planification des programmes de recherches dans la nouvelle Faculté ; il faut citer notamment le botaniste suédois G. TACKHOLM arrivé en 1925 et son épouse Vivi LAURENT-TACKHOLM (1898-1978), issue d'une famille alsacienne dont l'aïeul avait accompagné le Maréchal BERNADOTTE en Suède. Réunis en 1926, ils ne perdirent aucune occasion de parcourir les déserts et la campagne de l'Egypte, afin de collecter un maximum de plantes spontanées ou cultivées. Vivi LAURENT-TACKHOLM a publié en 1932, à la suite d'un séjour de plusieurs mois au Conservatoire botanique de Genève, un résumé de l'historique de cette période et de ses résultats les plus pertinents (LAURENT-TACKHOLM 1932).

... ET DE LA FAUNE

Au début du 20ème siècle, l'ichthyologue français BOULANGER publia son ouvrage sur les Poissons du Nil, tandis que le britannique ANDERSON publia le sien sur les Mammifères de l'Egypte. Une expédition suédoise, dirigée par JAGERSKOLD, constitua en 1904-1905 des collections d'invertebrés en Egypte et au Soudan. La Société Khédiviale d'Entomologie fut créée en 1908, tandis qu'en 1909 parut l'ouvrage classique des deux français LORTET & GAILLARD sur la faune de l'Ancienne Egypte. Entre 1914 et 1925, plusieurs articles furent publiés sur les plantes et les animaux (spécialement les oiseaux), de l'Egypte, par les officiers de l'Armée britannique, notamment par ceux qui furent nommés Gouverneurs des Districts des déserts égyptiens, et qui étaient dans la plupart des cas des amateurs d'histoire naturelle, phénomène qui se renouvela pendant la Deuxième Guerre mondiale (1940-1945). A cet égard, il faut noter les publications et les collections de JARVIS, de MURRAY, de NICOLL, de MEINERTZHAGEN, et de MOREAU, et d'autres, entre les deux Guerres. C. CROSSLAND, en particulier, lança entre 1920 et 1935, des études approfondies sur la faune de la Mer Rouge, du Golfe de Suez jusqu'à Suakin au Soudan. Il est pratiquement le fondateur de la Station d'Hydrobiologie à Hurghada (Ghardaqa), dont la responsabilité fut confiée, en 1935, à la Faculté des Sciences de l'Université égyptienne (à présent l'Université du Caire, la seule à l'époque). Cette station fut brièvement dirigée la première année par A. KHALAF EL-DUWEINI, qui a fait ses recherches sur le cycle de vie du coelentré *Aurelia*, puis par H. A. GOHAR, qui a effectué des recherches importantes

Source : MNHN

sur l'éco-morphologie des invertébrés marins. En 1932, la Faculté des Sciences contribua à l'organisation d'un voyage de recherches océanographiques en collaboration avec une équipe internationale pour l'exploration de la Mer Rouge et de l'Océan Indien, sur le navire MABAHETH. Participa à ce voyage l'hydrobiologiste égyptien H. FAWZI, ayant tout nouvellement obtenu son Doctorat en France (Roscoff), et qui avait déjà effectué des études hydrobiologiques en Méditerranée et dans l'Oasis de Siwa, à l'ouest de l'Egypte. A côté de ces efforts, il faut mentionner les travaux du Ministère de l'Agriculture (créé en 1911) et les recherches effectuées par la Faculté de l'Agriculture (créée en 1935), pour assurer un bon rendement des cultures, pour la protection de ces cultures contre les ravageurs, et pour recommencer les études pédologiques, etc., recherches qu'on peut sans doute compter comme des études écologiques.

LA POLITIQUE DE K. MANSOUR POUR LA ZOOLOGIE ÉGYPTIENNE

Le Département de Zoologie de la Faculté des Sciences de l'Université égyptienne a aussi beaucoup bénéficié des collections animales faites par ses Professeurs, notamment avec la politique menée entre 1930 et 1950 par K. MANSOUR (1898-1986), en l'occurrence un lamarckien acharné ; il peut être considéré, avec TACKHOLM, comme représentant la première génération des écologues égyptiens, d'après les critères de l'époque bien sûr, lorsque l'écologie ne pouvait être une discipline indépendante. MANSOUR demanda à chacun de ses élèves de se spécialiser dans un groupe animal donné, de la faune égyptienne : A.-H. HELMY pour les Protozoaires, A. KHALAF EL-DUWEINI pour les Oligochètes, M. FIKRY MAHMOUD pour les Cloportes, A.-M. ABDEL-WAHAB pour les Scorpions, K. WASSIF pour les Mammifères, A. HAMMAD AL-HUSSAINI pour les Oiseaux, M. H. FAWZI pour les Sauriens, H. M. BISHAY pour les poissons, etc., sans oublier des études d'Anatomie Comparée, confiées à M. R. EL-TOUBI et M. MELOUK, et de Physiologie des Animaux du désert, confiées à F. KHALIL, M. YANNI, Y. MAHFOUZ, entre autres. KHALIL publia une synthèse de ses travaux, avec ses collaborateurs, en 1963 (KHALIL 1963). Toutes ces études, sauf les deux dernières, devaient suivre un programme déterminé pour couvrir les diverses disciplines de la zoologie : la faunistique, la répartition géographique, l'anatomie, l'histologie, la biologie, les cycles de vie, et finalement, l'écologie. Bien entendu, ces chercheurs ne purent poursuivre ces études systématiquement programmées à la même vitesse. D'aucuns s'arrêtèrent à l'anatomie et l'histologie, tandis que d'autres continuèrent pour aborder l'écologie, en fonction du nombre des espèces concernées, naturellement variable, et aussi en fonction du nombre d'assistants disponibles pour couvrir toute la gamme de ces études. C'est ainsi que pour les Oligochètes, par exemple, les études écologiques ont pu démarrer en 1958, avec un assistant de la troisième génération (voir, par exemple, KHALAF EL-DUWEINI & GHABBOUR 1963 et 1965). L'enseignement de l'écologie à cette époque bénéficiait, pour l'essentiel, des textes de ELTON et de ALLEE.

L'HYDROBIOLOGIE

Dans le domaine de l'hydrobiologie, de nombreux progrès furent aussi réalisés. G. ABDIN étudia les algues du Nil avant le Haut Barrage d'Assouan. En 1940, avec la création de l'Université d'Alexandrie, un Département d'Océanographie y fut établi, pour développer des études écologiques sur la Méditerranée, mais aussi sur de nombreux lacs du Delta : Mariout, Edku, Borollos, et Manzalah. Parmi ses membres les plus connus, nous pouvons mentionner A. A. ALEEM (un autre "roscoffien", qui vient de publier une synthèse sur les algues marines de la région d'Alexandrie) ainsi que Y. HALIM & SHARAF-EDDIN. Pour le Lac Qaroun au Fayoum, et pour le Nil, deux stations de recherches limnologiques furent établies par le Ministère de l'Agriculture, l'une à Fayoum et l'autre aux Barrages du Delta, au nord du Caire, maintenant sous l'égide de l'Académie de la Recherche Scientifique et de la Technologie (ASRT). Trois autres stations ont été ensuite créées, l'une à Alexandrie, la deuxième à Serw (pour le Lac Manzalah), et la troisième à Assouan, cette dernière pour étudier la limnologie du Lac Nasser. Ces stations s'occupent plutôt d'écologie appliquée à l'exploitation des ressources halieutiques. Des études limnologiques sur le Lac Qaroun ont été menées par N. MELEIKA et R. BOULOS GUIRGUIS dans les années 1950, et puis par H. M. BISHAY et plus tard par F. BORAEY, A. MESHAL, et S. Y. KIROLLUS. (voir RZOSKA 1976 et KASSAS et GHABBOUR 1980). Pour le Lac Nasser, le pionnier des études limnologiques fut A.-F. ABDEL-LATIF (poissons), suivi par ISKAROUS (faune du benthos), et plusieurs autres chercheurs affiliés à la station d'hydrobiologie d'Assouan.

L'ENTOMOLOGIE

Dans le cadre des expéditions scientifiques étrangères, celle du Collège britannique Armstrong à l'Oasis isolée de Siwa en 1935 contribua à l'inventaire de sa faune jusque là pratiquement inconnue. ALFIERI, l'entomologue italien vivant en Egypte, enrichit le trésor de la Société d'Entomologie par ses collections inégalables de toute l'Egypte, tandis que le fameux diptérologue H. EFFLATOUN créa le Département d'Entomologie de la Faculté des Sciences de l'Université du Caire, en 1950, avec son musée entomologique unique, à vocation didactique, de la faune égyptienne. C'est ainsi que le corps enseignant de cette Université, avec la collaboration des expéditions étrangères, a enrichi et approfondi nos cannaissances sur la

Source : MNHN

faune égyptienne, ses caractéristiques morphologiques, ses adaptations, son éco-physiologie, etc., ce qui a beaucoup facilité dans un deuxième temps les études écologiques proprement dites, dans les années qui ont suivi, avec la prise de conscience de l'importance des études multi-disciplinaires sur le terrain, engagées à l'instigation du Programme Biologique International (PBI, 1965-1975) et du Programme de l'Homme et la Biosphère (MAB) de l'UNESCO (à partir de 1971).

L'ŒUVRE PRESQUE ACHEVÉE DE V. LAURENT-TACKHOLM

Il faut revenir à la botanique, pour rappeler que V. LAURENT-TACKHOLM entreprit la publication, à partir de 1941, d'un ouvrage monumental sur la flore de l'Egypte, dont 4 tomes ont paru, grâce à ses soins, sur les monocotylédones et deux familles de dicotylédones. Ceux-ci rassemblent le travail de plus d'un demi-siècle, entre 1926, date de son arrivée, et 1978, date de sa disparition (voir GHABBOUR 1978). Cet ouvrage, qui comprend tout ce qu'on peut savoir sur les plantes égyptiennes, et non seulement leur taxinomie, fut compilé d'abord avec son époux, décédé en 1933 puis avec son collaborateur, le grand collectionneur égyptien M. DRAR, qui connaissait les noms vernaculaires des plantes en langue bishari, des tribus des montagnes de la Mer Rouge au sud-est de l'Egypte. Actuellement, ce grand travail est poursuivi par les élèves de V. LAURENT-TACKHOLM, notamment M. NABIL EL-HADIDI et L. BOULOS, assistés de leurs jeunes collaborateurs. Ils s'appuient sur plusieurs centaines de milliers de spécimens conservés à l'Herbier du Département de Botanique de la Faculté des Sciences de l'Université du Caire, qui furent collectés dans presque toutes les zones écologiques de l'Egypte, ainsi que dans des pays voisins, depuis 1925 et même avant. V. LAURENT-TACKHOLM publia aussi en 1951 son grand ouvrage Faraos Blomster, sur les plantes de l'Ancienne Egypte, en suédois. Cet ouvrage qui n'a malheureusement pas été traduit en d'autres langues jusqu'à présent. En 1956, elle publia une petite flore de l'Egypte, dont une deuxième édition améliorée parut en 1974. En 1995, L. BOULOS publia un "Checklist" de la flore égyptienne (BOULOS 1995), tandis que EL-HADIDI continue à publier des fascicules sur les familles des végétaux de l'Egypte au fur et à mesure que leurs révisions sont achevées.

LA MATURATION DE L'ÉCOLOGIE VÉGÉTALE

Dans le Département de Botanique de l'Université égyptienne, les études d'écologie végétale commencèrent très tôt avec les enseignements et les efforts de deux botanistes britanniques : F. W. OLIVER (1929-1935), déjà un éminent écologue, et F. J. LEWIS (1935-1947). Sous la direction de ces deux Professeurs, A. M. MIGAHID et A.-H. MONTASIR ensemble étudièrent la transpiration des plantes du désert. Par ailleurs, MONTASIR travailla dans les années 1930 sur l'écologie du Lac Manzalah, au nord-est du Delta. Ce fut la première étude vraiment et exclusivement écologique du pays. Plus tard, MIGAHID développa le thème de l'éco-physiologie végétale avec ses élèves et en présenta une synthèse à un Symposium de l'UNESCO à Madrid (MIGAHID 1962). Il conduisit aussi des recherches sur l'écologie de la végétation aquatique de la vaste zone marécageuse de "Sudd" dans le Haut Nil, au Soudan, entre 1946 et 1955. Ce fut une des premières études d'impact sur l'environnement, d'un grand projet d'aménagement du fleuve, pour détourner ses eaux dans le Canal de Jonglei, proposé par le Ministère d'Irrigation de l'Egypte. L'étude avait été commandée par les autorités prévoyant la construction de ce Canal. T. M. TADROS continua le thème de l'éco-physiologie végétale en étudiant la pression osmotique des plantes du désert, pendant les années 1930. A cette époque, l'enseignement de l'écologie dépendait pour l'essentiel des textes de WARMING et de CLEMENTS.

LES ANNÉES DE L'APRÈS GUERRE (1945-1970)

D'AUTRES UNIVERSITÉS ÉGYPTIENNES SONT CRÉÉES

Avec la création de l'Université d'Alexandrie en 1940 et celle d'Ain Shams au Caire en 1950, de l'Université de Tanta (chef-lieu du Delta), en 1950, de l'Institut du Désert en 1950 également, de l'Université d'Assiout (chef-lieu de la Haute Egypte), en 1960, et de l'Université de Mansoura (à l'est du Delta), en 1965, les jeunes élèves de l'Université du Caire ont fait répandre ses traditions dans ces nouvelles Universités. TADROS a repris à Alexandrie ses études, mais les a orientées vers la synécologie de la végétation de la région de Mariout (le Mareotis des Anciens), à l'ouest de cette grande ville, tandis que A.-H. MONTASIR a créé à l'Université d'Ain Shams une véritable école sur l'autécologie des plantes du désert. M. N. El-SHOURNAGI a étudié l'écophysiologie de la tolérance pour le sel à Tanta ; A. EL-GHONEIMI, aussi à Tanta, a étudié l'autécologie des plantes de Mariout, et E. M. EL-SHARKAWI a étudié à Assiout la résistance à la sécheresse des plantes cultivées, pendant les étapes successives de leurs cycles de développement. A. M. HAMAD a préféré l'hydrobiologie du Nil. M. A. ZAHRAN s'est occupé des études sur les zones humides du Delta et sur la Mer Rouge. Il a récemment publié, avec le britannique WILLIS, un ouvrage sur la végétation de l'Egypte. M. IMAM a étudié la végétation aquatique du Nil et des cours d'eau. M. A. AYYAD a introduit les études phyto-sociologiques à l'Institut du Désert en 1953, sous la direction de A. M. MIGAHID et A. A. ABDEL-RAHMAN ; mais avec son transfert à l'Université d'Alexandrie en 1963, après avoir obtenu son Doctorat

Source : MNHN

au Canada, il recommenca ce genre d'études dans la région de Mariout, selon une nouvelle orientation et une nouvelle méthodologie, différentes de celles de T. M. TADROS. A l'Université du Caire, ce type d'études a été poursuivi par A. A. ABDEL-RAHMAN et K. H. BATANOUNY (1952-1973), avec leurs collaborateurs, pour l'olivier, l'amandier, etc., en sus des plantes du désert. Il est à noter que ces études portaient sur des plantes cultivées, à la fois comme une extension et une application des études phyto-écologiques à ces plantes de grande importance économique, surtout dans les zones désertiques bonifiées où les agronomes avaient tendance à appliquer les méthodes agronomiques utilisées dans le Delta. Dans le domaine de l'écologie animale, on peut mentionner M. HUSSEIN et E. YOAKIM à Assiout, qui ont effectué des recherches sur les poissons du Nil, et AFIFI MAHMOUD qui a travaillé sur l'écologie entomologique à Mansoura. En 1955, fut créé le Centre National des Recherches qui entreprit lui aussi des études écologiques sur les plantes spontanées de valeur économique, sur l'écologie des ravageurs, mais surtout des recherches sur la pollution des eaux et de l'air. Les Facultés d'Agriculture des nouvelles Universités ont aussi contribué aux recherches écologiques, avec par exemple S. HAMMAD à la Faculté d'Agriculture, à Alexandrie, et M. TADROS de la même Faculté, à Kafr El-Sheikh (branche de Tanta). Ce dernier, avec E. ABDEL-HAMID à Tanta (Faculté des Sciences), et A. A. ZAHER au Caire (Faculté d'Agriculture), a bâti la science de l'acarologie en Egypte. ZAHER a publié récemment un inventaire complet de la faune acarologique du pays. Mais il fallut attendre l'arrivée de M. KASSAS en 1950, qui avait étudié sous la direction de GODWIN à Cambridge, pour que l'enseignement de l'écologie et les recherches prennent un nouveau tournant, avec l'introduction des conceptions de TANSLEY sur l'écosystème.

LE RÔLE DU PROFESSEUR M. KASSAS

Le rôle du Professeur M. KASSAS dans le développement de l'écologie en Egypte mérite d'être souligné, car l'impact de ses efforts reste toujours remarquable et le demeurera pour très longtemps. On peut dire avec grande assurance que l'histoire de l'écologie en Egypte, comme une discipline indépendante, n'est vraiment que l'histoire du Professeur KASSAS, considéré comme le doyen des écologues égyptiens, et qui représente la deuxième génération, avec MIGAHID & MONTASIR, après TACKHOLM & MANSOUR. KASSAS a commencé à publier, à partir de 1952, une série de sept articles intitulée : "Habitat and plant communities in the Egyptian deserts", où il a développé, dans le sixième article (KASSAS & GIRGIS 1965), sa conception des unités de l'écosystème désertique. Il le fit ans le contexte de l'environnement égyptien, à partir des nombreuses excursions de longue durée, qu'il avait effectuées avec ses élèves (notamment M. IMAM, M. A.-K. ZAHRAN, S. EL-ABYAD, W. GIRGIS), dans divers types de déserts égyptiens, durant une quinzaine d'années (voir, par exemple, KASSAS & EL-ABYAD 1962). En 1963, il publia, en collaboration avec L. EMBERGER (fondateur du CEPE à Montpellier), et deux autres collègues, la Carte bioclimatique de la Région méditerranéenne. En 1969, il publia, avec les mêmes collaborateurs, la Carte de la Végétation de la Région méditerranéenne, toutes deux commandées par l'UNESCO et la FAO. M. KASSAS a aussi contribué largement aux activités du Programme des Zones arides de l'UNESCO entre le début des années 1950 et les premières années 1960. Il a présenté les résultats de ses recherches concernant l'Egypte dans le cadre de ce Programme aux Conférences organisées par l'UNESCO, à Madrid en 1959 sur Les Relations Plantes-Eau sous les Conditions Arides et Semi-arides, à Paris en 1960 sur les Problèmes de la Zone aride, et à Rome en 1961 sur Les Changements de Climat. Entre 1968, date du Colloque de Hammamet en Tunisie sur la désertification, et 1977, date de la Conférence internationale sous l'égide du PNUE, sur le même sujet, organisée à Nairobi par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, M. KASSAS a aussi expliqué avec une grande clarté et de manière très convaincante, le problème de la désertification à la communauté scientifique internationale, aussi bien qu'aux diverses organisations de la famille des Nations Unies. La collaboration intime de M. KASSAS avec des scientifiques européens et américains d'un très haut niveau sur des problèmes écologiques régionaux, et sa contribution aux travaux écologiques des organisations internationales, ont fait apprécier la valeur et la capacité de la communauté des écologues égyptiens.

LA COLLABORATION AVEC DES SCIENTIFIQUES ÉTRANGERS CONTINUE

La période des années 1950 et 1960 fut aussi marquée par les visites de plusieurs scientifiques européens en Egypte, attirés par les conditions écologiques particulières ainsi que par la volonté de leurs collègues, les écologues égyptiens, d'avoir une étroite association avec eux, et d'y mener des recherches en commun. On peut noter dans ce contexte la suédoise I. ARVIDSSON en 1953 et 1955 (l'effet de la rosée sur les plantes du désert), l'autrichien W. KUHNELT en 1956 (la faune du sol), le français G. LONG en 1956 (travaillant en collaboration avec M. A. AYYAD sur la phyto-sociologie), tous à Mariout. On peut aussi citer l'allemand W. KAUSCH, en 1960, les tchèques JANA KOSINOVA & J. CHRTEK, qui ont étudié, durant plusieurs années, en collaboration avec l'équipe de l'Herbier de l'Université du Caire, l'écologie des "mauvaises herbes" en Egypte, et l'américain OSBORN, qui a parcouru avec son collègue égyptien I. HELMY tous les coins de

Source : MNHN

l'Egypte pour étudier les mammifères. Ces deux derniers étaient affiliés à l'Unité de Recherche Médicale de la Marine Américaine (NMRU) du Caire, qui s'occupait des maladies tropicales, et où HOOGSTRAAL a passé la meilleure partie de sa vie pour étudier les tiques de l'Afrique. Cette Unité a aussi sponsorisé les études faunistiques de H. MARX sur les reptiles de l'Egypte, et a publié des recherches sur la faune du massif peu visité de Gebel Elba, au sud-est du pays. L'étroite collaboration entre K. H. BATANOUNY de l'Université du Caire et l'allemand ZIEGLER a beaucoup aidé à comprendre les stratégies des plantes des déserts égyptiens eu égard aux métabolismes C3 et C4 en fonction des conditions écologiques de leurs milieux, à travers toute l'Egypte.

Il ne faut pas oublier, les expéditions venues en Nubie, pour répondre à l'appel lancé par le Gouvernement égyptien, pour y inventorier, à côté de l'archéologie, la flore et la faune de cette région du sud de l'Egypte, avant son inondation par le Haut Barrage d'Assouan en 1966. Le passage des membres de ces expéditions en Egypte a beaucoup contribué à renforcer les liens avec leurs collègues égyptiens.

LE DERNIER QUART DE SIÈCLE (1970-1995)

La scène était donc bien préparée, avec la coopération soutenue entre écologues égyptiens et étrangers, vers 1970, pour que l'écologie égyptienne joue plus largement son rôle au niveau international. Cette période a vu un épanouissement de l'écologie égyptienne, une expansion, et une diversification sans précédent. Les années 1968 à 1972 furent, comme on le sait, une période d'intenses activités pour préparer la scène internationale aux mesures qu'il fallait prendre pour résoudre la crise écologique qui se manifestait de manière dangereuse et alarmante au niveau global. En 1968 fut organisée par l'UNESCO à Paris la Conférence sur les Ressources de la Biosphère, et en 1972 fut organisée à Stockholm la Conférence sur l'Environnement humain. Cette période fut donc marquée par l'apparition d'un nouvel élan qui a fait avancer la recherche écologique, ainsi que la coopération internationale pour mener des recherches multidisciplinaires, avec des équipes de plusieurs nationalités, et sur plusieurs années, dans un grand nombre des pays du monde. L'Egypte ne fut pas à l'écart de ce mouvement. Ce type de recherches écologiques fut aussi facilité, par l'utilisation de l'ordinateur, le développement de modèles mathématiques des écosystèmes, et la mise au point de logiciels pour traiter de très grandes masses de données ; ceci a donné la possibilité et a créé le besoin d'acquérir des informations, dans la plupart des cas de nature hétérogène, non pas sur les espèces isolées de leurs contextes biotiques, mais sur les écosystèmes dans leur entièreté, et dans leurs interactions dynamiques. L'ère de la vraie synécologie, ou plutôt de "l'écologie des écosystèmes", au sens propre du terme, fut ainsi inaugurée dans cette période critique dans l'histoire de l'écologie mondiale, qui subissait une crise sans précédent, justement lorsqu'elle fut appelée à répondre aux problèmes posés par les développements économiques, industriels, et démographiques de l'humanité. Pendant cette même période, l'enseignement de l'écologie dans les Universités égyptiennes commençait à s'inspirer des ouvrages de ODUM, avec son insistance sur l'importance de l'écosystème comme unité et base essentielles pour les études écologiques. Egalement, on a pu voir des études sur l'écologie urbaine et l'écologie rurale, sous le Programme MAB, menées par des écologues, ainsi que sur l'écologie culturelle, chez les anthropologues, tandis que s'opérait l'introduction de l'écologie dans les programmes de l'éducation nationale pour les étapes préuniversitaires.

LES GRANDS PROJETS MULTI-DISCIPLINAIRES

Trois grands projets du type ci-dessus mentionné furent organisés en Egypte dans les années 1970. Il s'agit du Projet SAMDENE (Systems Analysis of Mediterranean Desert Ecoystems of Northern Egypt, 1974-1979), le Projet REMDENE (Regional Environmental Management of Mediterranean Desert Ecosystems of Northern Egypt, 1979-1983), et le Projet Nile and High Dam Lake, 1974-1979. Les deux premiers concernaient l'écologie terrestre de la région de Mariout, avec une extension jusqu'à la frontière avec la Libye, tandis que le troisième, comme son nom l'indique, concernait l'étude des changements limnologiques du Lac Nasser et du Nil à la suite de la création du Haut Barrage d'Assouan. En même temps, l'Egypte a établi des Comités nationaux pour coordonner la coopération avec les instances internationales créées pour mieux organiser la coopération dans les domaines des sciences écologiques et environnementales, telles SCOPE (Scientific Committee on Problems of the Environment), UICN (International Union for Conservation of Nature), et le Comité MAB, sous l'égide du Ministère de l'Education. La création de ces Comités nationaux a largement facilité la coopération aux niveaux national et international. Ces Comités ont joué un rôle primordial pour le succès de ces trois projets, et pour les faire connaître en dehors de l'Egypte ; ils ont été présidés au début, et pour bien longtemps, par le Professeur M. KASSAS.

LE PROJET SAMDENE

Le Projet SAMDENE était soutenu par l'Université d'Alexandrie et financé par l'Agence américaine pour la Protection de l'Environnement (US/EPA) et la Fondation Ford (voir AYYAD & GHABBOUR 1977). Ce projet a

Source : MNHN

commencé comme une contribution égyptienne, quoiqu'en retard, au PBI, et est devenu plus tard la contribution égyptienne au Programme. Il avait comme point de départ les connaissances acquises par les études phyto-sociologiques effectuées dans la région de Mariout par TADROS, AYYAD, et M. RIZK, de l'Université d'Alexandrie, depuis la fin de la Deuxième Guerre Mondiale, ainsi que les études effectuées par l'Institut du Désert d'une part, et par la FAO d'autre part, pour le développement des pâturages de cette région. Le projet s'appuyait également sur les études effectuées par le Ministère de l'Agriculture pour bonifier les terres de cette région, par l'irrigation, en utilisant les eaux fournies par le Haut Barrage d'Assouan. Le Projet a donc eu une excellente chance pour réussir et pour devenir un modèle pour les autres équipes qui ont tenté de répéter la même aventure scientifique ailleurs. Les chercheurs mobilisés pour ce Projet ont largement bénéficié de la collaboration de leurs collègues dans les grands laboratoires français, à savoir : le Centre d'Etudes Phyto-sociologiques et Ecologiques (CEPE/CNRS, actuellement Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, CEFE), à Montpellier ; le Laboratoire de la Faune du Sol (INRA), à Dijon ; le Laboratoire d'Ecologie Générale à Brunoy (Muséum National d'Histoire Naturelle) ; le Laboratoire de Biologie Végétale et d'Ecologie Forestière à Fontainebleau (Université Paris VII), l'ORSTOM, le Secrétariat de la Faune et de la Flore (M.N.H.N.), et le Laboratoire de Zoologie de l'Ecole Normale Supérieure à Paris, sans bien sûr oublier la Société Française d'Ecologie. En établissant tous ces rapports, la Mission de Recherches et de Coopération (MRC) de l'Ambassade de France en Egypte a joué un rôle primordial pour les renforcer.

Le Professeur KASSAS (Univ. du Caire), était le Conseiller Scientifique de ce Projet, et M. AYYAD (Univ. d'Alexandrie), son Directeur, aidé par M. IMAM (Univ. du Caire), E. M. EL-SHARKAWI (Univ. d'Assiout), A. EL-GHONEIMI (Univ. de Tanta), E. EL-AYOUTY (Univ. du Caire), et S. GHABBOUR (Univ. du Caire également), entre autres. Ce Projet a été une occasion unique pour la formation d'une nouvelle et quatrième génération d'écologues des déserts égyptiens, tels M. ABDEL-RAZIK, S. HELMY, R. EL-GHAREEB, B. SALEM (Univ. d'Alexandrie), H. F. EL-KADI, M. SHALTOUT (Univ. de Tanta), S. HAMMOUDA, S. Y. SHOUKRY (Univ. du Caire), pour l'écologie végétale, et E. HEGAZI (Univ. d'Alexandrie), S. SOLIMAN (Univ. d'Ain Shams), W. Z. A. MIKHAIL, S. H. SHAKIR, M. A. ADLY (Univ. du Caire), pour l'écologie animale, entre autres. Ce projet a aussi initié et établi la coopération et la compréhension mutuelle entre scientifiques, agronomes, sociologues, et économistes, pour la première fois en Egypte.

LE PROJET REMDENE

Quant au Projet REMDENE, soutenu par l'ASRT, et financé toujours par la US/EPA et la Fondation Ford, il a été lié au Projet MAB et a eu comme Conseiller et Directeur MM. KASSAS & AYYAD respectivement, comme c'était le cas pour le Projet SAMDENE, avec les mêmes équipes de chercheurs (voir GHABBOUR & AYYAD 1990). Ce Projet s'occupait toujours de la région de Mariout, mais avec le but de trouver des méthodes rationnelles pour l'aménagement de ses ressources biologiques, pour l'aridoculture, l'agriculture irriguée et le pâturage. Il a bénéficié lui aussi de la collaboration des laboratoires français mentionnés ci-dessus. L'axe principal des deux Projets était la modélisation des écosystèmes de la région de Mariout, ceux naturels d'abord (Projet SAMDENE), et puis les écosystèmes artificialisés de ces trois types (Projet REMDENE), d'après les méthodes introduites par le Professeur AYYAD et celles utilisées par le Programme "Desert Biome" aux Etats Unis, dans le cadre du PBI. Ces deux Projets ont servi finalement à la déclaration par l'UNESCO, en 1981, du site expérimental d'Omayed comme première Réserve de la Biosphère en Egypte, et plus tard annoncée par le Gouvernement égyptien comme zone naturelle protégée sous la Loi 102 de 1983. Cette Loi a elle-même été promulguée grâce aux efforts incessants de la communauté des écologues égyptiens, avec M. KASSAS à sa tête. Ces équipes d'écologues avaient souhaité que leurs recherches servent à une meilleure gestion des ressources de cette région, mais cet espoir n'a malheureusement pas vu le jour, la zone étant consacrée à des "villages touristiques".

LE PROJET NIL-LAC NASSER

Le troisième grand projet multi-disciplinaire, celui du Lac Nasser, était sponsorisé par l'Académie (ASRT), et aussi financé par la US/EPA et la Fondation Ford. Il était sous la direction de M. HAFEZ, Vice-Président de l'ASRT et s'occupait de l'étude des changements écologiques qui devaient prendre place dans le Lac Nasser et le Nil. Ce Projet a servi à sensibiliser les autorités aux risques des effets négatifs de la construction du Haut Barrage d'Assouan sur l'environnement égyptien, sur la qualité des ressources naturelles et sur la santé publique. Il a servi également au développement de la limnologie et il a utilisé les nouvelles méthodes de modélisation, avec l'aide de l'italien GUARISO et de ses collaborateurs (voir GUARISO *et al.* 1980). De plus, le Projet était lui aussi une occasion unique pour la formation d'une nouvelle génération de limnologues (voir EL-AYOUTI &et IBRAHIM 1980, sur le phytoplancton du Nil). Un résultat essentiel de ce Projet fut la promulgation de la Loi 48/1982 pour la protection du Nil et des cours d'eau contre la pollution, ce qui a été considéré un grand pas vers l'assainissement de ce fleuve sans lequel l'Egypte ne peut exister.

Source : MNHN

LA COOPÉRATION INTER-UNIVERSITAIRE AVEC LES ÉTATS-UNIS

Dans le cadre de la coopération scientifique entre l'Egypte et les Etats-Unis, un programme de liens entre Universités égyptiennes et américaines a été établi de 1980 à 1990, d'un montant de 27 millions de dollars américains, pour financer des projets de recherche en commun, entre Professeurs égyptiens et américains, sous l'égide du Conseil Suprème des Universités du Ministère égyptien de l'Education. Parmi les quelques 500 projets financés dans tous les domaines par cet accord, une quinzaine l'ont été dans celui de l'environnement, principalement sur la pollution, mais comprenant aussi des projets d'études écologiques multi-disciplinaires. Parmi ces dernières, il faut citer des études sur le Wadi El-Assiouty (Wadi = oued), à l'est de la ville d'Assiout, sous la direction du Professeur A.-M. MAHER ALI de la Faculté d'Agriculture de l'Université d'Assiout ; sur le Wadi El-Rayyan au sud-ouest du Fayoum, entreprises par les Universités du Caire et d'Al-Azhar (sous la direction des deux frères MAHMOUD et MOSTAFA A. SALEH, de ces deux Universités ; sur la région du Monastère de Ste. Catherine au sud du Sinaï, entreprises par l'Université du Canal de Suez (créée en 1970), sous la direction de son Président le Professeur A. E. DOWIDAR ; et sur les côtes du Delta, entreprises par l'Université de Mansoura sous la direction du Professeur ZAHRAN. Comme résultat de ces études, les zones de Wadi El-Assiouty, Wadi El-Rayyan, et Sainte Catherine ont été déclarées zones naturelles protégées par le Gouvernement égyptien. Une autre étude a été entreprise par S. GHABBOUR, de l'Université du Caire, sur l'utilisation de la richesse spécifique de la faune du sol comme critère pour le choix des zones naturelles méritant d'être protégées. Ces projets ont une fois de plus aidé à la formation de nouvelles générations d'écologues égyptiens, appartenant à plusieurs universités, et bien entrainés pour le travail en équipes multi-disciplinaires dans les différents types de déserts du pays. Ces projets ont aussi contribué à la sensibilisation des décideurs, sur une grande échelle, aux problèmes écologiques du pays. L'Université Américaine au Caire a elle aussi eu un projet dans le cadre de cet accord, en association avec l'Université d'Alexandrie, sur le développement intégré du désert, sous la direction du Professeur A. BISHAY. Ce dernier Projet a évolué depuis 1980, pour devenir actuellement un projet sur la formulation d'une Stratégie du Développement Durable en Egypte, et pour les Gouvernorats, financé par le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD).

LE PROJET WADI ALLAQI

A partir de 1980, Mme. I. SPRINGUEL, d'origine russe et naturalisée égyptienne, a été en charge du Département de Botanique de la nouvelle Faculté des Sciences à Assouan, branche de l'Université d'Assiout. Ayant fait son Doctorat sur la végétation des îles du Nil à Assouan, elle a dirigé ses travaux de phyto-sociologie vers le désert des deux côtés de cette ville, en utilisant les méthodes et les classifications géo-botaniques de l'Europe centrale (notamment le concept des espèces édificatrices et l'index de dominance DOMIN-KRAJINA). Au bout de huit ans, elle a eu assez de données pour tenter en 1988 un projet multi-disciplinaire pour l'étude des écosystèmes du Wadi Allaqi, le plus grand des wadis de la Haute Egypte, au sud-est du pays. Ce Projet, qui se nommait "Eco-Développement de Wadi Allaqi" (plus tard intitulé "Développement Durable de Wadi Allaqi"), a été soutenu par l'Université d'Assiout et financé par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), et le British Council, avec la collaboration des équipes de l'Université de Glasgow, et de l'Université de Tuskegee (Alabama, Etats Unis), outre celle du Caire. Le projet était sous la direction du Professeur A. E. BELAL, ancien Doyen de la Faculté des Sciences d'Assouan (créée en 1967) ; il a continué jusqu'à 1994, et a donc été le quatrième grand projet de recherches écologiques multi-disciplinaires en Egypte dans ce dernier quart de siècle. Mais si dans la région de Mariout, au nord du pays, il pleut peu, il est toujours sûr que la pluie tombe en hiver et que sa quantité, quoique variable, ne descend pas au-dessous d'un certain seuil. En revanche, dans le désert de la région d'Assouan (le désert nubien), la pluie n'a guère de saisonnalité, et sa quantité est hautement aléatoire, avec des absences pendant plusieurs années consécutives. Au nord et au sud du pays, ce sont effectivement des déserts, mais ils sont loin d'être semblables, comme on pourrait le croire à partir d'un examen superficiel. La vie végétale et animale dans la région du sud est donc "asaisonnière" et dépend des chutes sporadiques de pluies, nommées "pluies accidentelles" par KASSAS et les autres botanistes qui ont étudié l'écologie de cette région, notamment SPRINGUEL et l'allemand BORNKAMM. Le Wadi Allaqi a fini, lui aussi, par être déclaré par l'UNESCO, en 1993, Réserve de la Biosphère, la seconde du pays, déjà protégée par le Gouvernement égyptien. Le Projet a permis la formation d'un noyau solide d'écologues d'un très haut niveau (voir à ce propos, par exemple, BRIGGS *et al.* 1993), et a contribué à la formation d'une cinquième génération d'écologues égyptiens qui prendra la rélève au 21ème siècle. Et parmi les retombées de cette activité, les îles du Nil à Assouan ont elles aussi été déclarées zone naturelle protégée par le Gouvernement égyptien.

LA COLLABORATION AVEC LES SCIENTIFIQUES ÉTRANGERS TOUJOURS INDISPENSABLE

Les échanges des écologues entre l'Egypte et les autres pays a continué de manière accélérée grâce à ces projets de recherches multi-disciplinaires. Durant plusieurs années,

Source : MNHN

une équipe hollandaise visitait l'Egypte pour recenser les oiseaux migrateurs dans les zones humides, et a fini par publier un texte important sur ce phénomène, avec des données quantitatives. M. LÉONARD, de Belgique, a effectué, avec des collègues égyptiens, une longue marche dans le sud-ouest de l'Egypte pour explorer le massif Oweinat. L'allemand KINZELBACH a fait des études ornithologiques en Haute Egypte, et publie à Darmstadt la revue *Zoology of the Middle East.* Cette coopération internationale a été également extrêmement importante dans le domaine de la zooécologie du sol. Ainsi, pour ne mentionner que quelques exemples, le Département des Ressources Naturelles de l'Institut des Recherches et d'Etudes Africaines, de l'Université du Caire, a organisé une série de Séminaires sur les Ressources de l'Afrique, y compris un sur les Ressources de la Faune du Sol. A ce séminaire, ont participé des pédozoologues français et britanniques, à côté de leurs collègues africains, et leurs communications ont été publiées dans un numéro spécial de la *Revue de Zoologie Africaine*, en Belgique (GHABBOUR & DAVIS 1988). De même, le Projet de l'Union Internationale des Sciences Biologiques (IUBS), lancé en 1984, et intitulé "Biologie et Fertilité des Sols Tropicaux (TSBF)", a permis une coopération étroite des écologues de différents pays et de différentes spécialisations. Ainsi, dans le domaine de la pédozoologie, deux projets ont été lancés : un projet égyptien sur la caractérisation environnementale des sites par l'utilisation de la faune du sol, en Afrique, entre le Département des Ressources Naturelles et le Centre Scientifique IBM du Caire ; un autre projet entre le même Département et l'UNESCO sur l'effet de l'utilisation du sol sur sa faune. Ces deux Projets n'ont pu réussir que grâce à ces échanges de scientifiques égyptiens et français, qui ont introduit en écologie égyptienne de nouvelles méthodes modernes, notamment l'utilisation de l'analyse des correspondances et la classification hiérarchique, pour le traitement des données. Cette coopération fructueuse a abouti à la production de nombreuses publications conjointes franco-égyptiennes. En 1991, a été organisée au Caire, en coopération avec la Société Italienne de Statistiques, une journée sur les Statistiques Ecologiques et Environnementales, où ont été présentés les derniers progrès dans ce domaine, dans les deux pays. De plus, des chercheurs égyptiens, diplômés du Département des Ressources Naturelles, sont allés dans des pays africains pour y mener des recherches écologiques et/ou pour rendre des services d'expertise, au Soudan, en Libye, au Nigéria, au Sierra Leone, au Kenya, en Tanzanie, en Zambie, et aussi au Sultanat d'Oman (en Asie).

LES NOUVEAUX ENGAGEMENTS A PROPOS DE LA BIODIVERSITÉ

La dernière étape de l'évolution de l'écologie en Egypte a commencé en 1992 avec la création de l'Unité nationale de la Biodiversité, au sein de l'Agence Égyptienne des Affaires de l'Environnement (EEAA), en collaboration avec le PNUE, pour obéir aux engagements de la Convention de la Biodiversité, signée à Rio la même année. Une série d'études sur la biodiversité des différents groupes d'animaux et des plantes de l'Egypte est prévue pour des publications éventuelles, dont la première a déjà paru en 1993, sur la diversité des habitats en Egypte (KASSAS 1993). Avec les divisions écologiques du pays proposées antérieurement (voir par exemple AYYAD et GHABBOUR 1986 et 1993), ces derniers travaux mettent au point les limites et les caractéristiques écologiques des différentes éco-régions de l'Egypte. Cette période de "l'après Rio" est aussi marquée par la création d'un quatrième Comité national pour le Programme international de la Géosphère et de la Biosphère (Changement Global, IGPB), sous l'égide de l'ASRT. Mais ce qui manque pour l'Egypte, c'est un musée national d'histoire naturelle qui abriterait les collections dispersées ici et là.

L'ÉCOLOGIE ET L'ENVIRONNEMENT

LE MOUVEMENT ENVIRONNEMENTAL EN ÉGYPTE ET LE RÔLE DES ÉCOLOGUES ÉGYPTIENS

Si l'on admet que l'écologie est pour l'environnement ce qu'est la médecine pour la santé publique (le citoyen n'a guère besoin d'être médecin pour savoir comment se protéger contre les infections et se maintenir en bonne santé, mais doit recourir au médecin pour demander des médicaments et le traitement lorsqu'il tombe malade), on peut très bien comprendre comment les écologues égyptiens ont été appelés à donner leur avis sur les problèmes d'environnement lorsque ceux-ci se sont avérés trop sérieux pour être négligés. L'ASRT a créé en 1972 le Conseil des Recherches de l'Environnement, pour donner son avis sur les projets à financer par l'Académie, dont les plus importants ont été l'étude de la pollution dans les zones industrielles du Caire et celle d'Alexandrie, ainsi que l'étude de la pollution marine dans cette grande ville portuaire et balnéaire. Près d'une centaine d'écologues égyptiens ont fondé en 1975 la Société Egyptienne des Sciences de l'Environnement, en association avec INTECOL, pour organiser leurs activités de vulgarisation. Ils ont joué un rôle primordial pour la promulgation des Lois 48/1982 et 102/1983, et pour la création de l'Agence des Affaires de l'Environnement en 1982, avec laquelle ils ont formulé la Stratégie Nationale pour l'Environnement et le Plan d'Action, en 1992, puis la Stratégie Nationale et le Plan d'Action pour la Conservation de la Biodiversité, en 1993. De 1978 à 1984, M. KASSAS a été Président de l'UICN ; à ce titre, il a contribué en collaboration avec le Professeur égyptien M. TOLBA, Directeur Exécutif du

Source : MNHN

PNUE, et le Prince Philippe du Royaume Uni, Président du Fonds Mondial pour la Nature au lancement de la Stratégie Mondiale de la Conservation, en 1980. Celle-ci a été très favorablement reçue par le Gouvernement égyptien ; feu le Président SADAT a émis un Décret présidentiel pour que le Gouvernement prenne en considération ses principes en planifiant les projets de développement national. Durant les années 1980, a été lancée l'idée de creuser un canal entre la Méditerranée et la Dépression de Qattara, à l'ouest du Delta, et au sud de la fameuse ville d'El-Alamein ; mais les écologues égyptiens ont farouchement protesté contre ce projet aux conséquences écologiques néfastes et imprévisibles, autant pour la méthode envisagée pour le creusement du canal, que pour ses effets ultérieurs sur le Delta. Le projet a été retiré partiellement grâce à ces protestations. En 1994, a été promulguée la Loi 4, dite de l'Environnement, pour globaliser les instruments et les actions légaux et juridiques nécessaires. Cette Loi exige, pour la première fois, des études d'impact et autorise les organisations non-gouvernementales (ONG) à porter plainte contre les responsables des actions nuisibles à l'environnement. Ce n'est que la deuxième autorisation du genre dans l'histoire de la législature égyptienne, la première étant celle de la Loi 102/1983 pour les Zones Protégées. A l'heure actuelle, plusieurs Gouvernorats (par exemple, Fayoum, avec une aide des Pays Bas, et Assouan, avec une aide du Danemark), ont établi leurs profils environnementaux avec la collaboration des écologues égyptiens, comme prélude pour établir et mettre en marche des Stratégies et Plans d'Action pour l'Aménagement de l'Environnement au Niveau Local. De plus, de plus en plus d'ONG qui s'occupaient auparavant des problèmes sociaux, s'intéressent maintenant à l'environnement comme une composante normale du service social pour les communautés locales, et demandent par conséquent le concours des écologues égyptiens. Ajoutons aussi que le Ministère des Affaires Etrangères a maintenant une Direction pour les Affaires de l'Environnement, qui a joué un rôle important pour la Conférence de Rio en 1992. Un Parti des Verts a été autorisé en 1991. Il publie un hebdomadaire (Al-Khodr), qui donne ses points de vue au grand public, tandis que le grand quotidien cairote Al-Ahram consacre une page hebdomadaire pour l'environnement. La radio et la télévision ont elles aussi de nombreux programmes sur le sujet.

LES ACTIVITÉS DES ÉCOLOGUES ÉGYPTIENS AU NIVEAU INTERNATIONAL

Hormis la coopération avec les programmes internationaux SCOPE, MAB, UICN, et IGPB, les écologues égyptiens ont aidé et conseillé les instances gouvernementales pour l'étude et l'approbation des conventions internationales dans le domaine de l'environnement, à commencer par celle de Ramsar et jusqu'à celle de la Lutte Contre la Désertification, signée à Paris en 1994. Il faut ajouter les programmes environnementaux initiés par la Ligue Arabe au travers de son Organisation pour la Science, l'Education, et la Culture (l'ALECSO, équivalente à l'UNESCO, dont le Professeur KASSAS était en charge de 1972 à 1977), la Conférence des Ministres Africains pour l'Environnement (AMCEN) en 1985, et le Plan Bleu pour la Méditerranée, depuis 1975, dont le Groupe de Coordination et de Synthèse a été dirigé d'abord par I. S. ABDALLA, et puis par I. H. ABDEL-RAHMAN, deux éminents économistes égyptiens convaincus de la cause environnementale. Puis il y a eu des rapports avec l'Agence de Coopération Culturelle et Technique (l'ACCT, des Pays Ayant en Commun l'Usage du Français), depuis 1988, lorsque l'Egypte l'a jointe. La présence de M. TOLBA à la tête du PNUE pour une assez longue période, a contribué au prestige et à la crédibilité des écologues égyptiens ainsi qu'à renforcer le mouvement environnemental dans le pays, ce qui leur a épargné l'obligation de faire du "bruit dans la rue", et a facilité et assoupli leurs rapports avec les autorités. Ce n'est qu'une fois paru le livre écrit par I. H. ABDEL-RAHMAN sur les économies de l'environnement et du développement, en 1982, que beaucoup d'encre a coulé dans la presse, pour s'opposer à ses constatations négatives vis-à-vis de l'énergie nucléaire, du point de vue environnemental. La création d'un Département de la Gestion de l'Environnement au sein de l'Université Senghor d'Alexandrie (francophone et internationale), au service du développement africain, en 1990, a donné l'occasion aux enseignants et aux auditeurs de cette Université de venir en contact des écologues égyptiens, pour le bénéfice des deux parties. A la fin de 1994, les écologues égyptiens ont organisé deux grandes manifestations régionales, l'une avec l'UICN sur la Biodiversité des Zones Arides de l'Afrique du Nord, et l'autre avec l'UNESCO-MAB pour établir un réseau MAB arabe. Au début de 1995, deux colloques ont été organisés : l'un à Kharga, sur le développement durable du Gouvernorat de "La Nouvelle Vallée", qui comprend les deux grandes Oasis de Kharga et Dakhla, au sud-ouest du pays, à l'invitation de son Gouverneur, en collaboration avec l'UNESCO ; l'autre à Assouan, sur le développement durable du Lac Nasser et de ses ressources naturelles, à l'invitation du Gouverneur d'Assouan. Tout dernièrement, les écologues égyptiens ont participé à un atelier sur la "Femme Rurale, la Biodiversité, et le Développement", à Marrakech (Maroc), en avril 1995, et ont mis au point un programme régional pour l'Afrique du Nord, pour la conservation de sa biodiversité et pour son utilisation durable. Ils ont aussi organisé le mois suivant un stage de deux semaines pour une quarantaine de gestionnaires des sites du patrimoine naturel et des réserves naturelles venant de 16 pays arabes, en collaboration avec l'UNESCO et le

Source : MNHN

Fonds de la Convention du Patrimoine Culturel et Naturel, qui siège à l'UNESCO à Paris.

L'ÉTAT ACTUEL DANS LES UNIVERSITÉS ÉGYPTIENNES

Finalement, il faut noter qu'il y a seulement un quart de siècle, l'écologie en Egypte n'était que l'affaire des écologues. Mais dans les Universités, le mouvement environnemental a été enraciné et renforcé très tôt, par des mesures appropriées pour traiter les différents aspects de l'environnement de manière scientifique. Ainsi, le Département des Ressources Naturelles a été créé au sein de l'Institut de Recherches et d'Etudes Africaines en 1971. Parmi ses premières activités, il faut noter l'organisation d'un Séminaire sur les Déserts égyptiens et américains, pour comparer leurs écosystèmes, en association avec des collègues américains. Ce Département est resté assez longtemps le seul dans le domaine. Mais maintenant, chacune des universités égyptiennes, au nombre de 14, a un Vice-Président pour les Affaires de l'Environnement et le Service Social, et plusieurs d'entre elles confèrent ou envisagent de conférer des Diplômes d'Etudes Supérieures de l'Environnement. De même, chaque Faculté, quel que soit son domaine, a un Vice-Doyen avec les mêmes responsabilités. Les Vice-Présidents de toutes les Universités sont membres du Conseil Suprème des Universités pour les Affaires de l'Environnement et le Service Social, et un Conseil correspondant existe au niveau de chaque Université, qui regroupe les Vice-Doyens de ses Facultés. L'Université d'Ain Shams a créé, en 1983 un Institut d'Etudes et de Recherches de l'Environnement, composé de sept Départements, traitant les différents aspects de ce domaine reconnu vaste et complexe. Plusieurs Universités égyptiennes ont aussi créé des Centres d'Etudes et de Recherches de l'Environnement, notamment celles du Caire, de Mansoura, et d'Assiout. La Branche d'Assouan de l'Université d'Assiout possède, depuis 1994, une Unité pour les Etudes de l'Environnement et du Développement, au service de cette région, sous la direction du Professeur A. E. BELAL, qui est aussi le Directeur du Projet de Wadi Allaqi. Depuis lors, les campus d'Assouan, de Qéna, et de Sohag ont été séparés de l'Université d'Assiout et constituent l'Université du Sud de la Vallée. La Faculté de Sciences de Damiette (Université de Mansoura), a commencé en 1995 un programme de Bachelier-ès-Science de l'Environnement, mi-écologie mi-environnement, puisque les cours des quatre années commencent par l'écologie en première et deuxième années et finissent par l'environnement en troisième et quatrième années. En effet, les mots "environnement" et "écologie" se traduisent en arabe par un seul mot (bi'à) : la différence entre les sens des deux mots n'est pas facilement distinguée, parfois même au niveau académique. Ce programme, ainsi que les autres programmes d'études supérieures en environnement, préparent les étudiants pour des métiers de l'environnement dont la société n'a pas encore tout à fait ressenti le besoin, malgré la promulgation de la Loi 4/1994, qui exige pour la première fois en Egypte des études d'impact environnemental pour les grands projets. A l'heure actuelle, n'importe qui est considéré comme capable de mener de telles études, puisque la dite Loi n'a pas donné des conditions précises pour désigner les spécialistes à qui on devrait confier ces études, mais il est souhaité qu'avec le temps les diplômés sortants de ces institutions puissent éventuellement remplir cette tâche. Il faut noter, cependant, qu'aucune Université égyptienne, jusqu'à présent, n'offre des cours structurés, et ne mène à un diplôme, sur la gestion des ressources naturelles et/ou des réserves naturelles. Seule l'Université francophone internationale Senghor d'Alexandrie offre un diplôme proche, sur la Gestion de l'Environnement.

Ainsi, l'écologie s'est épanouie en Egypte à la manière d'une fleur de lotus, avec une longue tige, le passé, et une belle fleur en éventail, aujourd'hui. Avec ces derniers développements sur la scène de l'écologie et de l'environnement en Egypte, on entre dans le 21ème siècle muni d'un bagage solide, avec beaucoup de confiance, et, nous l'espérons, avec des promesses de progrès durable. Mais il faut toutefois insister sur le fait que la coopération avec les collègues de tous pays demeure essentielle pour assurer la continuité et l'efficacité de ce progrès.

REMERCIEMENTS

Cet article a comme base une Conférence qui fut donnée, sous les auspices du Muséum National d'Histoire Naturelle, à la Salle de Conférences du Laboratoire d'Ecologie Générale à Brunoy, le 28 septembre 1992, intitulée : *L'Ecologie en Egypte, Acquis et Perspectives.* Le contenu de cet article est un peu différent de celui de la conférence, compte tenu du cadre particulièrement restreint d'une conférence de 60 minutes. Bien entendu, l'article ne peut guère prétendre être exhaustif et couvrir tout ce qu'il y a à savoir sur l'histoire de l'écologie en Egypte. Il est présenté sans essayer de donner trop de détails sur les acquis de l'écologie en Egypte, qui nous l'espérons seront le sujet d'une communication prochaine, et sans tenter non plus d'être encyclopédique pour la partie historique, sur laquelle on peut très facilement se renseigner ailleurs, si on le souhaite. A ce propos, je tiens à remercier vivement M. le Professeur Patrick BLANDIN, Directeur du Laboratoire d'Ecologie Générale et Editeur de la Revue *Ecologie,* ainsi que les autorités du Muséum, pour leur généreuse invitation et pour m'avoir offert cette occasion de présenter à la communauté scientifique française ainsi qu'à la communauté francophone la plus large, un aperçu de l'évolution de l'écologie en Egypte et de sa situation actuelle. Cet article est dédié au Professeur M. KASSAS, le doyen des écologues égyptiens, à l'occasion de son 74ème anniversaire, le 6 juillet 1995.

Source : MNHN

REFERENCES

AYYAD, M.A. & GHABBOUR, S.I., 1977.- Systems Analysis of Mediterranean Desert Ecosystems of Northern Egypt (SAMDENE). *Environ. Conserv.*, 4 : 91-101.

AYYAD, M.A. & GHABBOUR, S.I., 1986.- Hot deserts of Egypt and the Sudan. *In : Ecosystems of the World, Hot Deserts and Arid Shrublands*, vol. 12B, (Eds. : M. EVENARI, I. NOY-MEIR, et D. W. GOODALL), Elsevier, Amsterdam : 149-202.

AYYAD, M.A. & GHABBOUR, S.I., 1993.- Dry coastal ecosystems of eastern North Africa. In : *Ecosystems of the World, Dry Coastal Ecosystems, Africa, America, Asia and Oceanea,* vol. 2B, (Ed. E. van der Maarel), Elsevier, Amsterdam : 1-16.

BOULOS, L., 1995.– *Flora of Egypt Checklist.* Al-Hadara Press, Le Caire : 283 pp.

BRIGGS, J., DICKINSON, G., MURPHY, K., PULFORD, I., BELAL, A.E., MOALLA, S., SPRINGUEL, I., GHABBOUR, S. I. & MEKKI, A.-M. 1993.- Sustainable development and resources management and their use in the Wadi Allaqi region of Egypt. *Appl. Geogr.*, 13 : 259-284.

de FENOYL, R. 1980.- *Plantes d'Egypte par Prosper ALPIN·1581-1584.* (Traduit par), Inst. fr. d'Arch. orient., Le Caire : 200 pp.

EL-AYOUTY, E.Y. & IBRAHIM, E.A., 1980.- Distribution of phytoplankton along the River Nile. *Water Supply & Management,* 4 : 35-44.

GHABBOUR, S.I., 1978.- Vivi Laurent-Tackholm, 7.1.1898-3.5.1978. End of an era. *Taeckholmia,* 1 : 1-4.

GHABBOUR, S.I. & AYYAD, M.A., 1990.- *The State of the Rural Environment in Developing Countries*, (Eds.). Egyptian Nat'l SCOPE Committee, Acad. Sci. Res. & Techn., Cairo : 550 pp.

GHABBOUR, S.I. & DAVIS, R.C., 1988.- Proceedings of the Seminar on Resources of Soil Fauna in Egypt and Africa, Cairo, 16-17 April 1986. (Eds.). *Rev. Zool. afr.-J. afr. Zool.,* 102 : 263-389.

GUARISO, G., WHITTINGTON, D., ABDEL-SAMIE, M.E. & KRAMER, C., 1980.- A salt balance simulation of Lake Nasser. *Water Supply & Management,* 4 : 73-80.

KASSAS, M. 1981.- Egypt. Ch. 23, *in : Handbook of Contemporary Developments in World Ecology*, eds. E. J. KORMONDY & J. F. MCCORMICK, Greenwood Press, Westport, Conn., USA & London, England : 447-454.

KASSAS, M., 1993.- *Egypt, Habitat Diversity,* (Ed.) Publ. no. 1, Nat'l Biodiv. Unit, Egypt. Env. Affairs Agency, Cairo, and UNEP : 302 pp.

KASSAS, M. & EL-ABYAD, M.S., 1962.- On the phytosociology of the desert vegetation of Egypt. *Annals of Arid Zone,* I : 54-83.

KASSAS, M. & GHABBOUR, S.I., 1980.- The Nile and its Environment (Eds.) *Water Supply & Management*, Sp. Issue, 4 (1/2) : vi+1-114.

KASSAS, M. & GIRGIS, W.A., 1965.- Habitat and plant communities in the Egyptian deserts. VI. The units of a desert ecosystem. *J. of Ecology,* 53 : 715-728.

KEIMER, M.L., 1926.- Bibliographie des ouvrages de G. SCHWEINFURTH : 1858-1925. *Bull. Soc. roy. Géogr. d'Egypte,* 14 : 73-112.

KHALAF EL-DUWEINI, A. & GHABBOUR, S.I., 1963.- The specific distribution of megadriline oligochaetes in Egypt and its dependence on soil properties. *Bull. Zool. Soc. Egypt,* 18 : 21-30.

KHALAF EL-DUWEINI, A. & GHABBOUR, S.I., 1965.- Population density and biomass of earthworms in different types of Egyptian soils. *J. appl. Ecol.*, 2 :.271- 285.

KHALIL, F., 1963.- African fauna : taxonomy, ecology and zoogeography. In : *A Review of the Natural Resources of the African Continent. Natural Resources Research-I.* UNESCO, Paris, Columbia Univ. Press, New York : 277-316.

LAURENT-TACKHOLM, V., 1932.- Bibliographical notes to the flora of Egypt. *Festskrift Verner Soderberg* : 193-208. and additional notes, 2 pp.

MIGAHID, A.M., 1962.- Drought resistance of Egyptian desert plants. *UNESCO Arid Zone Research,* Paris 16 : 213-233.

RZOSKA, J., 1976.- *The Nile, Biology of an Ancient River,* (Ed.) W. Junk, B. V., Publ., The Hague : 417 pp.

ENGLISH ABRIDGED VERSION

HISTORY OF ECOLOGY IN EGYPT, A GLIMPSE

If we wish to give an account of the history of ecology in Egypt we must go back to the body of knowledge acquired by the priests of Ancient Egypt, taught at the old University of Oun, north of present-day Cairo, to that of Ancient Greece, taught at the Old University of Alexandria, and to the knowledge and experience of the Arabs, who also brought in the knowledge of Persia and India, added to it, reorganized it, and transferred it to Western Europe. The healer in those days was also the pharmacist and the herbalist, and to a certain extent the ecologist, as he had to know where his medicinal plants grew, and how. The Coptic calendar and almanac (the word is of Arabic origin), formally dating back to 284 A.D., and still used by farmers, fishermen, and pastoralists in Egypt, in the management of their natural resources, is actually the receptacle of this vernacular knowledge.

NAPOLEON's expedition to Egypt in 1798 was, for all intents and purposes, the first step in building up modern science in this country, with the publication of the famous *Description d'Egypte*. During the first half of the 19th century the School of Medicine was opened, and biology was taught there. In the second half of the 19th century, expeditions prinicipally by SCHWEINFURTH added much to our knowledge of the natural history of Egypt. The Khedivial Society of Geography, established in 1875, helped to organize expeditions into Africa, while the Khedivial Society for Agriculture, in 1880, helped to design agronomic experiments to compare the 2-year and the 3-year agricultural rotations, the first agro-ecoloy experiments. This Society kept a plot in Bahteem, in the north of Cairo, without any chemical fertilization to test changes in soil properties, on the lines of a similar experiment at Rothamsted. The Khedivial Society for Entomolgy was established in 1908. In the early 20th century a number of important books appeared on the Egyptian fauna : BOULANGER's on fishes of the Nile and ANDERSON's on the mammals of Egypt, as well as LORTET and GAILLARD's on the fauna of Ancient Egypt. British officers during World War I and British District-Governors of desert areas in Egypt published many useful observations on what they saw in the Egyptian deserts.

But the real start of ecological research at the academic level in Egypt was the establishment of the Faculty of Science of the Egyptian University (now Cairo University, the only one at the time), with its Departments of Botany, Zoology, and Entomology, in 1925. Eminent Professors who early took charge of these Departments, such as GUNNAR and Viviv LAURENT-TACKHOLM in Botany, K. MANSOUR in Zoology, and H. EFFLATOUN in Entomology, had the vision to establish long term strategies for the development of a scientific renaissance. The TACKHOLM couple criss-crossed the country to build up a respectable herbarium which has now hundreds of thousands of specimens from Egypt and neighbouring countries. V. LAURENT-TACKHOLM continued the

Source : MNHN

work after the death of her husband and began publication of a monumental Flora of Egypt, in 1941, which comprised every possible bit.of knowledge about Egyptian plants. Only four volumes have been published, dealing with the Monocotyledons and two Dicotyledon families. This work is now continued by her senior students M. N. EL-HADID and L. BOULOS. In zoology, K. MANSOUR asked every one of his students to specialize in a given group of animals and study it systematically, beginning with faunistics, then geographic distribution, anatomy, histology, etc., and reaching ecology. Not all groups reached the final phase, under constraints of the number of species involved and the number of students available. In 1911 the Ministry of Agriculture was established, while the Faculty of Agriculture was established in 1935.

In the period between the two World Wars bird collecting was particularly flourishing (NICOLL, MEINERTZHAGEN, MOREAU), and C. CROSSLAND explored the hydrobiology of the Red Sea in Egypt and the Sudan. His efforts resulted in the establishment of the Marine Hydrobiology Station in Hurghada (Ghardaqa), whose second Director, Professor H. GOHAR, made into a world famous scientific center. The Egyptian hydrobiologist H. FAWZI joined the John Murray expedition of the Red Sea and the Indian Ocean in 1932, on board the Egyptian research vessel Mabaheth. In 1935 the Armstrong College expedition explored the fauna of the isolated Siwa Oasis in the Western Desert.In 1940 the second Egyptian University was established in Alexandria with a Department of Oceanography. As for entomology, the famous Dipterologist H. EFFLATOUN established a unique museum in the Dept. of Entomology of Cairo University and ALFIERI enriched the collections of the Entomological Sociey. During the inter-War period also, Egyptian plant ecology matured with works of MIGAHID and MONTASIR who studied the ecology of Lake Manzalah in the north-east Delta, and drought resistance in desert plants.

With the arrival of Professor KASSAS from Cambridge after having obtained his Ph.D. in 1950 with GODWIN, started a new phase in the history of Egyptian ecology. As a matter of fact one can confidently say that the history of ecology in Egypt is effectively the personal history of Professor KASSAS. With his extensive and extended excursions in Egyptian deserts with his students, and bringing in TANSLEY's concept of the ecosystem, he could give a clear and lucid picture of plant ecology under Egyptian environmental conditions. He collaborated with three other eminent ecologists from outside Egypt in the elaboration of the UNESCO-FAO bioclimatic and vegetational maps of the Mediterranean region, and substantially contributed to our understanding of deserts within the Arid Zone Research Programme of UNESCO.

Starting from about 1970, when the environment came to be recognized as a global problem, KASSAS again contributed to the elaboration of the international programmes of SCOPE, UNESCO-MAB, UNEP, and ALECSO, and to link them with national programmes. The UN Conference to Combat Desertification, held in Nairobi in 1977, much benefited from his inputs. In 1978 he became President of IUCN (till 1984). When the three major multi-disciplinary ecological research projects of SAMDENE, REMDENE, and the Nile-Lake Nasser Study were begun in the 1970's, his counselling and guidance were of the highest value to their success, as well as for the subsequent fourth such project on Sustainable Development of Wadi Allaqi in the south of Egypt in the late 1980's.

At present, Egyptian ecology is certainly in a much better position than it was a quarter of a century ago. It is now based on a prolific and multifarious body of scientific knowledge, is being taught at all levels of the educational system, is having a good number of fourth and fifth generation disciples, is backed by the governmental Environmental Affairs Agency, is coordinating with international associations such as SCOPE, MAB, IUCN, INTECOL, and IGBP (Global Change), and is supported by more or less suitable legislature and international conventions, a sympathetic media coverage, and a growing number of active NGOs, as well as a Party of Greens, with their own weekly newspaper (*Al-Khodr*). Egyptian ecology stands therefore a good chance for fulfilling its tasks in the next century, but it should be emphasized that cooperation with colleagues of all nations remains indispensable for its successful and sustainable progress and efficiency.

Source : MNHN

Ecologie, t. 26 (2) 1995 : 81-94

IMPACT DES APPORTS VÉGÉTAUX ALLOCHTONES SUR LA DISTRIBUTION DE LA FAUNE BENTHIQUE DANS UN COURS D'EAU MONTAGNARD MAROCAIN, L'OUED ZEGZEL*

Abdellatif MAAMRI[1], Hassan CHERGUI[2] & Eric PATTEE[3]

[1]*Laboratoire d'Hydrobiologie & Ecologie Générale, Faculté des Sciences, Université Mohamed Premier, Oujda-Maroc.*

[2]*Laboratoire d'Hydrobiologie & Ecologie Générale, Faculté des Sciences Dhar El Mehrez, Université Mohamed Ben Abdelah, Fès-Maroc.*

[3]*URA CNRS 1974 Ecologie des Eaux Douces et des Grands Fleuves, Université Claude Bernard, Lyon I, F69622 Villeurbanne Cedex, France.*

SUMMARY
(review paper)

THE IMPACT OF ALLOCHTHONOUS PLANT INPUTS ON THE DISTRIBUTION OF BENTHIC INVERTEBRATES IN OUED ZEGZEL, A MOROCCAN MOUNTAIN STREAM
A clear relationship appeared over space and time between the abundance of allochthonous particulate organic matter and the biomass of the main trophic groups of invertebrates (shredders, filterer-collectors and gathering-collectors). Shredders dominated in the Upper Zegzel where coarse allochthonous inputs were abundant and they were most abundant in the more retentive structures. Their numbers and biomass increased during or just after peak inputs. Collectors were more numerous lower down, where small detritus and fine particulate organic matter were more abundant. Thus, at its own scale, Oued Zegzel conformed with the River Continuum Concept described by VANNOTE et al. *(1980).*

KEY WORDS : Organic matter - Functional trophic groups - Shredders, collectors - *Melanopsis praemorsa* - Upstream-downstream gradient.

RÉSUMÉ
(article de synthèse)

Il apparaît une bonne relation dans l'espace et dans le temps entre l'abondance de matière organique particulaire d'origine allochtone et la biomasse des principaux groupes fonctionnels trophiques du zoobenthos (dilacérateurs, collecteurs-filtreurs, collecteurs de matière fine déposée). Les dilacérateurs dominent dans le Haut Zegzel, là où les apports allochtones grossiers sont abondants, avec une localisation plus précise au niveau des structures de rétention les plus efficaces de la matière organique. Cette prédominance s'accentue durant ou juste après la période de grands apports végétaux. Les collecteurs, au contraire, sont plus nombreux en aval où abondent les détritus plus ou moins décomposés et la matière organique fine. De ce point de vue et à sa propre échelle, le Zegzel se conforme au "River Continuum Concept" décrit par VANNOTE et al. *(1980).*

MOTS CLÉS : Matière organique - Groupes fonctionnels trophiques - Dilacérateurs - Collecteurs - *Melanopsis praemorsa* - Gradient amont-aval.

* Manuscrit reçu le 16 mai 1995 ; version révisée acceptée pour publication le 9 octobre 1995

Source : MNHN

INTRODUCTION

Dans leur concept intitulé *"The River Continuum Concept"* (RCC), VANNOTE *et al.* (1980) ont indiqué que la végétation ripariale joue un rôle déterminant en affectant le rythme, la quantité et la qualité des ressources trophiques hétérotrophes et autotrophes dans les milieux aquatiques. Lorsque la dimension du cours d'eau est faible, l'ombre créée par le feuillage des arbres le long des berges réduit l'apport d'énergie lumineuse. La photosynthèse se trouve ainsi inhibée, la production primaire réduite et par conséquent insuffisante pour supporter les besoins trophiques des communautés aquatiques. Dans ce cas, les apports allochtones issus en particulier de la végétation riveraine contribuent de façon importante à la productivité du système aquatique. Par contre, lorsque la dimension du cours d'eau augmente, l'importance relative des apports végétaux devient plus faible et la production primaire domine.

Le *"River Continuum Concept"* a été très étudié dans le biome caducifolié d'Amérique du Nord. Dans l'Oued Zegzel, un cours d'eau marocain caractérisé par l'abondance de *Nerium oleander*, espèce à feuilles persistantes, le long de ses berges (MAAMRI *et al.* 1994a), les relations existant entre la structure de la communauté benthique et les ressources trophiques d'origine allochtone ont été recherchées. De telles relations doivent permettre une meilleure compréhension de l'utilisation du concept des groupes trophiques dans la caractérisation du fonctionnement de l'écosystème (VANNOTE *et al.* 1980).

Diverses parties de cette étude d'ensemble étant déjà publiées ou en cours de publication (CHERGUI & PATTEE 1991b, CHERGUI *et al.*, 1993, MAAMRI *et al.*1994 a et b, MAAMRI *et al.*, soumis à publication) nous n'en rappellerons que les résultats nécessaires à la présente synthèse.

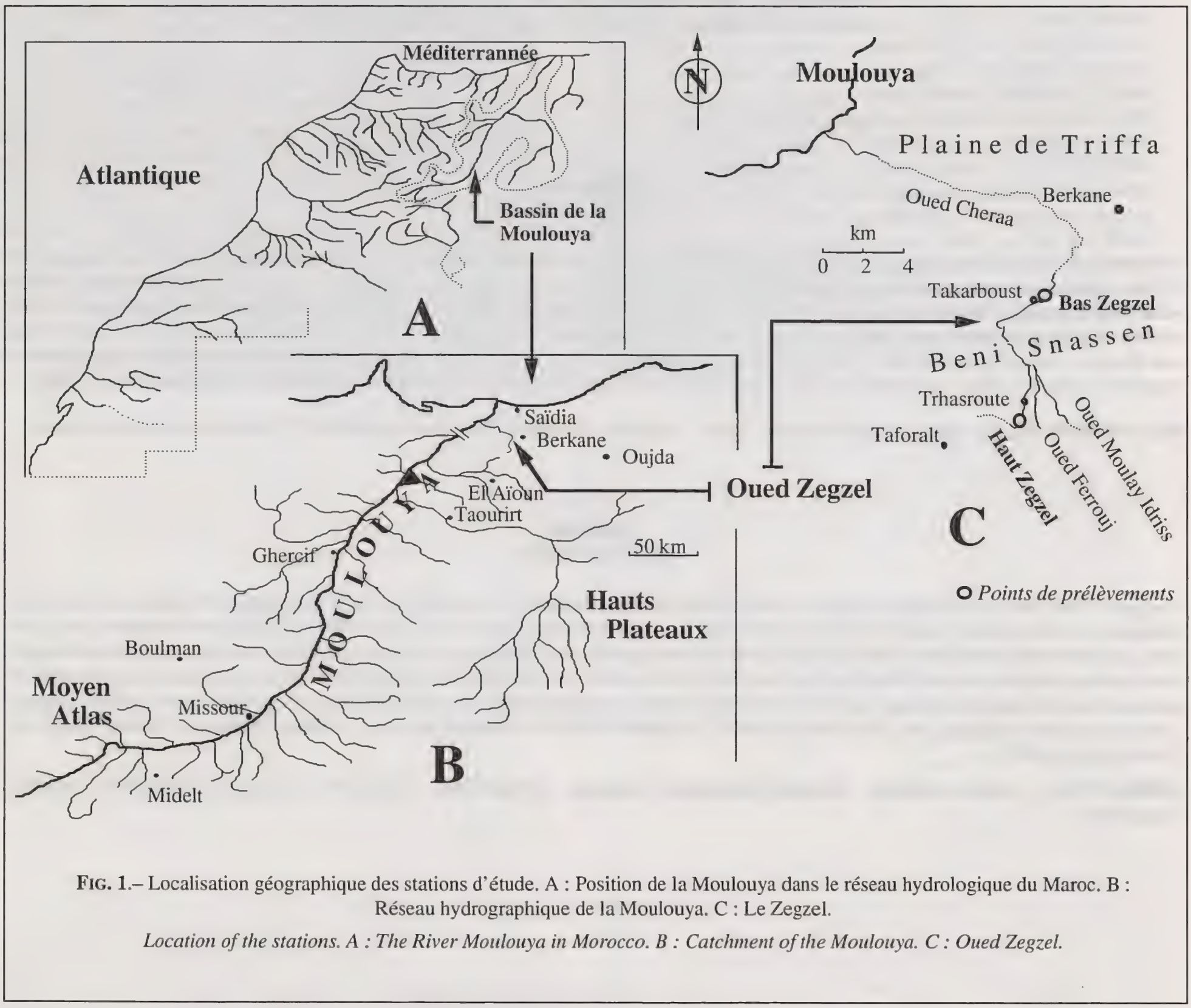


FIG. 1.– Localisation géographique des stations d'étude. A : Position de la Moulouya dans le réseau hydrologique du Maroc. B : Réseau hydrographique de la Moulouya. C : Le Zegzel.

Location of the stations. A : The River Moulouya in Morocco. B : Catchment of the Moulouya. C : Oued Zegzel.

Source : MNHN

MATÉRIEL ET MÉTHODES

STATIONS D'ÉTUDE

L'Oued Zegzel est l'un des affluents de la Moulouya qu'il rejoint en aval du pont Hassan II, après avoir pris le nom d'Oued Cheraa (FIG. 1). Descendant des Monts Beni-Snassen au nord-est du Maroc, il est formé de trois branches qui convergent à 11 km en amont de Berkane. L'ensemble draine une superficie de 132 km^2.

Comme la plupart des cours d'eau méditerranéens permanents, l'Oued Zegzel est caractérisé par l'irrégularité de son écoulement et par des manifestations hydrologiques brutales. Le régime annuel, étroitement lié à la pluviosité, est marqué par des crues depuis l'automne jusqu'au printemps et par un étiage d'été sévère. Le débit mensuel augmente dès les premières pluies d'automne, pour atteindre son maximum au début du printemps.

Situé à 435 m d'altitude, le Haut Zegzel, également appelé Branche sud-ouest dans des publications précédentes, est alimenté par la source limnocrène de Larhlalcha. L'eau s'étale dans un réservoir artificiel de 4,5 m de longueur sur 1,5 à 3 m de largeur, avant de couler sur le reste de son parcours, où ont été effectués les différents prélèvements, à l'ombre de la dense végétation riveraine. Le débit varie de 10 à 100 L s^{-1} selon la saison. La station prospectée comprend une suite de brèves cascades séparant des petits bassins barrés par des blocs et des débris végétaux grossiers. La largeur moyenne du cours d'eau ne dépasse pas 2 mètres. Les profondeurs à l'étiage peuvent atteindre moins de 5 cm dans certains endroits du cours d'eau. Dans ce cours ombragé, les températures sont beaucoup plus stables (19 à 25 °C) qu'à l'aval. L'écoulement est relativement rapide (0,75 m s^{-1} durant la période hivernale), mais il devient plus lent en été (0,25 m s^{-1} environ). Le substrat est formé de gros blocs semi-émergés, de pierres, de cailloux, de galets et de sable avec beaucoup de débris de bois. La végétation aquatique est constituée de quelques rares pieds de *Chara vulgaris longibracteata.* De plus, toute couverture algale est quasi-absente. La végétation riveraine, dont les arbres se rejoignent au-dessus de l'eau d'une rive à l'autre, est composée essentiellement de Lauriers roses (*Nerium oleander*), de Joncs (*Juncus acutus*) de Saule (*Salix pedicellata*), de Roseaux (*Arundo donax*) et d'Eglantines (*Rosa canina*) avec quelques Prêles, Grenadiers, Pruniers, Figuiers et Peupliers (*Populus alba*). Les versants de la vallée sont recouverts de *Tetraclinis articulata* avec quelques pieds de *Chamaerops humilis*, *Ceratonia siliqua* et *Olea europaea.*

La station aval, qualifiée de Bas Zegzel, est située à 280 m d'altitude. Elle est localisée à quelques mètres en aval de Takarboust, dans une large gorge. A ce niveau, le lit de l'oued devient plus ouvert, sa largeur est de l'ordre de 40 m. Le débit varie entre 10 et 300 L s^{-1} selon la saison. La pente est faible, et le courant de 0,25 m s^{-1} en moyenne. Les températures sont plus fluctuantes au cours de l'année (11-26 °C) du fait de l'exposition des eaux au soleil et du faible débit d'étiage. Cette station est soumise à des prélèvements d'eaux excessifs à usages domestique et agricole. En particulier durant l'été, la rivière alimente des canaux destinés à l'irrigation des terrasses fertiles de la vallée, ce qui contribue à réduire le débit. Le fond est dominé par des galets, des blocs avec des accumulations de sable et de vase. Dès le début de l'hiver se développe une couche algale sur le fond et surtout sur les bords, où les eaux sont calmes. Les galets se recouvrent d'algues filamenteuses. La végétation aquatique supérieure est constituée de Characées et surtout de phanérogames à feuilles flottantes *(Potamogeton trichoides).* La végétation riveraine est presque totalement absente à cause des fortes crues qui l'ont récemment emportée. Seules persistent quelques touffes de *Nerium oleander*, *Salix pedicellata* et *Tamarix balansae* en taches le long du cours d'eau. Sur les versants de la vallée on rencontre quelques *Juncus acutus*, *Equisetum sp.* et *Tamarix balansae.*

ÉCHANTILLONNAGE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE VÉGÉTALE GROSSIÈRE (MOPG), DE LA MATIÈRE ORGANIQUE PARTICULAIRE FINE (MOPF) ET DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DISSOUTE (MOD)

Le dépôt de litière (MOPG) dans des quadrats de 0,25 m^2 disposés d'une part sur la rive et d'autre part dans l'eau a été décrit de façon détaillée dans MAAMRI (1994) et MAAMRI *et al.,* (1994a). Le matériel végétal recueilli chaque mois dans chaque quadrat était séparé en 5 catégories ("feuilles", "débris de bois", "macrophytes", "fleurs, fruits et graines" et "autres débris"), lavé puis séché à 40°C afin de déterminer son poids sec.

Le dispositif expérimental décrit par MALMQVIST *et al.* (1978) était utilisé pour estimer la MOPF. Dans chaque station, 5 pièges à sédiment ont été répartis sur une distance de 100 m. Au moment de son retrait mensuel de l'eau, chaque piège était remplacé au même endroit par un autre. La MOPF était obtenue par filtration entre 1 mm et 0,45 µm, séchée à 105 °C pendant 24 heures, et évaluée par pesée différentielle avant et après calcination à 525 °C pendant 3 heures.

Les MOD d'échantillons prélevés mensuellement, l'un en milieu lotique et l'autre en milieu lentique dans chaque station, étaient évaluées grâce à un analyseur de carbone total Dohrman CD 80, après stérilisation au chlorure mercurique, stockage à - 20 °C et transfert à Villeurbanne (France).

Source : MNHN

ÉCHANTILLONNAGE DE LA FAUNE BENTHIQUE

Nous avons utilisé deux moyens de récolte :

• Un filet Surber permettait d'échantillonner une surface de 0,1 m^2. Dans un premier temps, le nombre de prélèvements était fixé à quatre par station : deux en milieu lotique et deux en milieu lentique. Ensuite, nous avons cherché à mettre en évidence la relation entre rétention des apports végétaux et microdistribution des dilacérateurs. Les prélèvements ont alors été effectués au niveau de chacune des structures de rétention énumérées par CHERGUI *et al.* (1993) et MAAMRI *et al.* (1994b), et mentionnées dans la figure 5. Les petits barrages de débris de bois sont des structures hétérogènes incluant des tiges, des feuilles, des branches et des cailloux qui interrompent le courant et créent des petites flaques d'eau à leur amont immédiat. Les branches sont des structures ramifiées portant des tiges et des feuilles à travers lesquelles l'eau coule librement. La végétation riveraine est représentée par les rameaux qui pendent dans l'eau et diminuent la vitesse du courant le long du bord.

• En plus du filet Surber, des substrats artificiels de corde ont été posés sur le fond. Ces substrats sont constitués d'une enveloppe de grillage (25 x 12 x 5 cm, maille 2 cm) contenant chacune la même quantité de corde (CELLOT 1982, RICHARDOT-COULET *et al.,* 1986) et quelques pierres afin d'éviter qu'ils ne flottent. Le temps d'exposition a été fixé à un mois, d'une part pour faire coïncider la date des prélèvements des apports végétaux et ceux de la faune (MAAMRI *et al.* 1994a) et d'autre part pour permettre une large colonisation par la macrofaune aquatique. Ces substrats étaient posés à raison de quatre par station (deux en milieu lotique et deux en milieu lentique). Chaque substrat était maintenu en place par un fil de nylon relié à un élément fixe du rivage (branchage). A la fin de chaque mois, chaque substrat était retiré de l'eau puis immédiatement glissé dans une boîte de plastique afin d'éviter le départ de la faune benthique. Les substrats artificiels étaient remplacés au même endroit par d'autres, préparés d'avance.

Une fois récoltée, la faune était fixée sur le terrain dans du formol à 5 %.

Au laboratoire, les organismes récoltés par les deux moyens d'échantillonnage ont été triés, identifiés, comptés, rangés par groupes fonctionnels (selon TACHET *et al.* 1980 et CUMMINS & WILZBACH 1985) (TAB. I) puis séchés à l'étuve à 110 ° C pendant 24 heures afin de déterminer leur biomasse. En raison de la petite taille d'un grand nombre d'entre eux (1 mm), les Gastéropodes ont été pesés avec leur coquille, ce qui tendra à exagérer la biomasse des dilacérateurs.

Les effectifs et les biomasses ont été comparés par analyse de variance.

Dans la figure finale schématisant le fonctionnement de l'écosystème, les flux annuels de matière organique particulaire ont été obtenus en sommant les flux mensuels recueillis dans les quadrats (MOPG) et dans les pièges à sédiments (MOPF), exprimés en g de poids sec par m^2. Les flux annuels de matière organique dissoute (MOD) ont été calculés à partir de 12 échantillonnages mensuels en multipliant les concentrations par les débits. Ces données ont été tirées des documents suivants : MAAMRI (1994), MAAMRI *et al.,* (1994a), MAAMRI *et al.,* (soumis à publication). Les biomasses de la faune benthique prises en compte sont celles recueillies par le filet Surber dans chaque station ; on a calculé la moyenne pour l'année des 12 prélèvements mensuels.

RÉSULTATS

ÉTUDE QUALITATIVE

La liste des 60 taxons récoltés par les deux méthodes est dressée dans le tableau I. Une partie d'entre eux a pu être identifiée au niveau de l'espèce.

ÉTUDE QUANTITATIVE

Dans cette partie, nous analyserons les variations saisonnières et la répartition spatiale des différents groupes trophiques présents dans le milieu aquatique en fonction des apports allochtones végétaux et de leur rétention.

Faune invertébrée en relation avec les apports végétaux

Comparons tout d'abord la faune récoltée par le filet Surber et par les substrats artificiels. La figure 2 pour le Haut Zegzel et la figure 4 ne laissent apparaître aucune différence significative ($p > 0,05$). Les substrats artificiels donnent donc des résultats équivalents au prélèvement de 0,1 m^2 par le Surber. Dans la figure 2 pour le Bas Zegzel, le pic des prélèvements au Surber en décembre est dû à un groupe de larves d'éphémères du genre *Baetis*. La présence d'un crabe dans un substrat en octobre explique la forte valeur de biomasse, qui ne se retrouve pas dans les prélèvements au Surber. Ces irrégularités se manifestent du fait de la faiblesse des effectifs et de la biomasse dans le Bas Zegzel.

Dans la station amont, les apports végétaux se produisent en deux périodes principales : octobre-novembre où tombent principalement les feuilles caduques et mars-avril où tombent principalement les feuilles du laurier et le bois (MAAMRI *et al.* 1994a) (FIG. 2). Lors de la première période, il y a synchronisme entre l'accroissement des apports végétaux et les effectifs de la faune. L'accroissement de la biomasse n'apparaît pas de façon aussi nette. En effet, les effectifs sont très importants pour une

Source : MNHN

Taxon	Haut Zeghzel	Bas Zeghzel	Groupe trophique
PLATHELMINTHES			
Turbellariés			
Dugesiidae			
Dugesia gonocephala	+	+++	Prédateur
NEMATHELMINTHES			
Nématodes	+	++	Autre
ANNELIDES			
Oligochètes			
Lumbricidae			
Lumbricus sp.	+	+	Collecteur
Tubificidae	+	+	Collecteur
MOLLUSQUES			
Gastéropodes			
Melaniidae			
Melanopsis praemorsa	+++	+	Râcleur-dilacérateur
Physidae			
Physa acuta	+		Râcleur-dilacérateur
Lymnaeidae			
Lymnaea truncatula	+		Râcleur
Ancylidae			
Ancylus fluviatilis	+		Râcleur
ARTHROPODES			
CRUSTACÉS			
Amphipodes			
Gammaridae			
Gammarus sp.	+		Dilacérateur
Décapodes			
Atyidae			
Atyaephyra desmaresti	+		Dilacérateur
Potamidae			
Potamon edule	+	++	Dilacérateur
INSECTES			
Ephéméroptères			
Baetidae			
Baetis rhodani	+	++	Collecteur
Baetis pavidus	+	+	Collecteur
Caenidae			
Caenis luctuosa		+	Collecteur
Heptageniidae			
Ecdyonurus rothschildi	+	++	Râcleur
Leptophlebiidae			
Choroterpes sp.	+	+++	Dilacérateur
Traulus sp.	+	+	Dilacérateur
Odonates			
Libellulidae			
Crocothemis erythraea	+	++	Prédateur
Gomphidae			
Gomphus simillimus		+	Prédateur
Hétéroptères			
Gerridae			
Gerris cinereus	+	+	Prédateur
Nepidae			
Nepa sp.	+	+	Prédateur
Coléoptères			
Dytiscidae			
Potamonectes clarki		+	Prédateur
Stictonectes lepidus	+	+++	Prédateur
Deronectes bombisinus	+		Prédateur
Gyrinidae			
Aulonogyrus striatus		+	Prédateur
Elmidae			
Stenelmis consobrina	+		Brouteur-râcleur
Oulimnius fuscipes		+++	Brouteur-râcleur
Esolus pygmaeus	+	+	Brouteur-râcleur
Normandia villosocostata		+	Brouteur-râcleur
Limnebiidae			
Limnebius sp.		+	Râcleur
Trichoptères			
Hydropsychidae			
Hydropsyche maroccana	+	+++	Filtreur
Hydropsyche lobata	+	+	Filtreur
Hydroptilidae			
Hydroptila vectis	+	+	Dilacérateur
Ecnomidae			
Ecnomus deceptor	+		Collecteur
Psychomiidae			
Paduniella vandeli		+	Filtreur
Rhyacophilidae			
Rhyacophila sp.	+		Prédateur
Limnephilidae	+	+	Dilacérateur
Diptères			
Blephariceridae	+	+	Râcleur
Tipulidae		+	Prédateur
Psychodidae		+	Râcleur
Dixidae			
Dixa sp.	+	+	Râcleur
Culicidae	+	+++	Filtreur
Simuliidae			
Eusimulium latinum	+	+++	Filtreur
Chironomidae			
Tanypodinae	+	+	Prédateur
Chironominae			Collecteur-filtreur
Chironomini	+	+++	
Tanytarsini		+++	
Diamesinae	+	+	Collecteur
Corynoneurinae	+	+++	Collecteur
Orthocladiinae		+++	Collecteur
Ceratopogonidae	+	+	Prédateur
Stratiomyidae		+	Dilacérateur
Empididae		+	Prédateur
Tabanidae			
Tabanus sp.	+	+	Prédateur
Athericidae			
Atherix sp.	+	+++	Prédateur
Ephydridae	+	+	Autre
Sciomyzidae	+	+	Prédateur
Anthomyidae		+	Prédateur
Autres taxons non identifiés			
Annelide		+	Autre
Coléoptère	+		Autre
Crustacé		+	Autre
Richesse taxonomique	**43**	**50**	

TABLEAU I.– Inventaire des taxons récoltés dans l'Oued Zegzel et leur classification par groupe trophique selon TACHET *et al.* (1980) et CUMMINS & WILZBACH (1985) (les signes + à +++ indiquent la fréquence de présence dans les relevés).

List of the taxa collected in Oued Zegzel, with their place among the trophic groups described by TACHET et al. *(1980) and* CUMMINS & WILZBACH *(1985). Their frequency in the samples is shown by the number of crosses.*

Source : MNHN

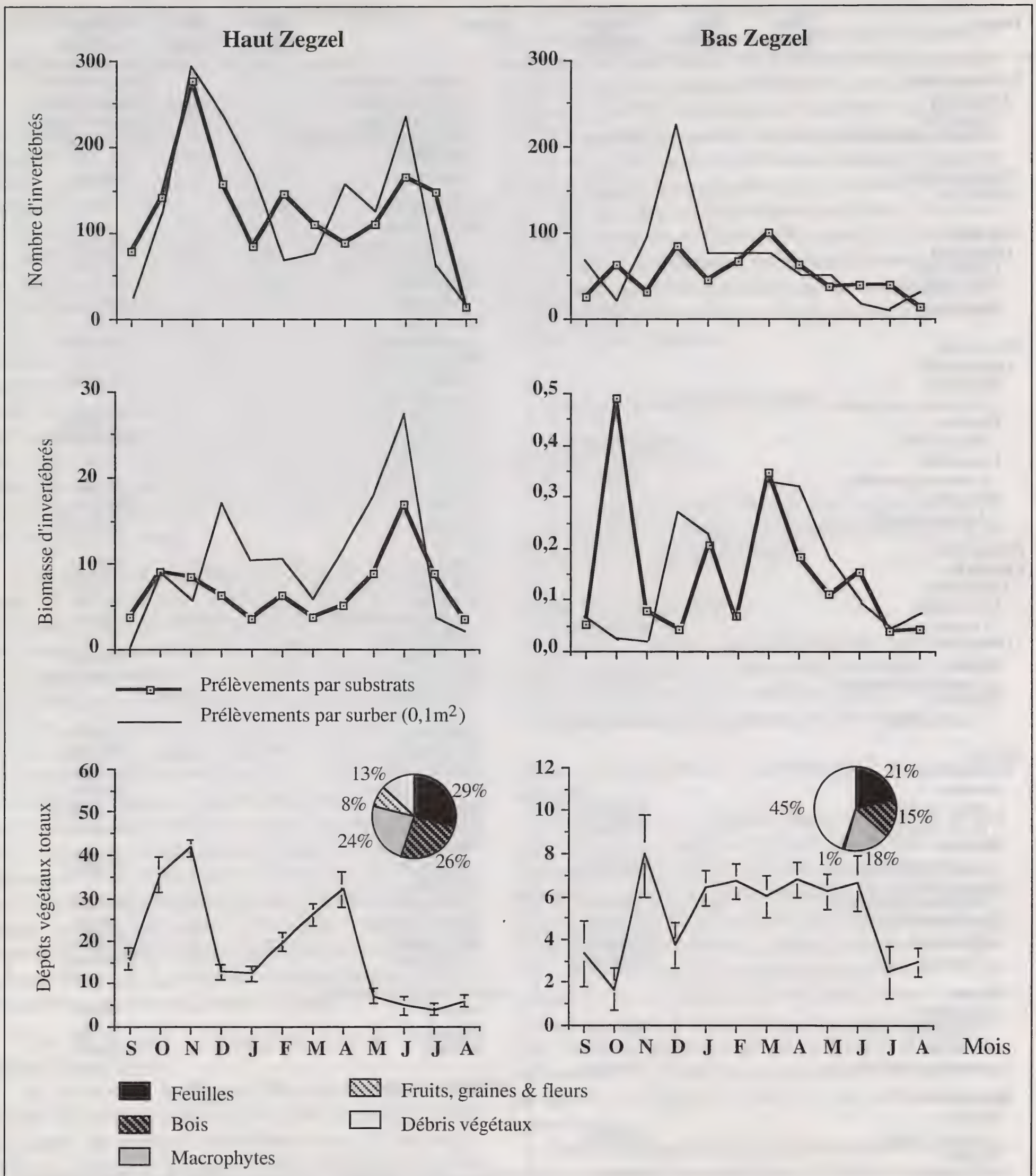


FIG. 2.– Évolution du nombre (par 0,1 m^2) et de la biomasse totale d'invertébrés (g de poids sec par 0,1 m^2), ainsi que des dépôts végétaux d'origine allochtone (g $sec.m^{-2}$) dans le Haut et le Bas Zegzel en 1991-1992 (les données concernant les dépôts végétaux et les prélèvements par substrat sont recalculées d'après MAAMRI *et al.* 1994a).

Invertebrate numbers (per 0.1 m^2) and total biomass (g dry weight per 0.1 m^2), and allochthonous litter input (g dry weight.m^{-2}) in two quadrates in the Upper and Lower Zegzel in 1991-1992 (litter input and artificial substrate data were calculated from MAAMRI et al. *1994a).*

Source : MNHN

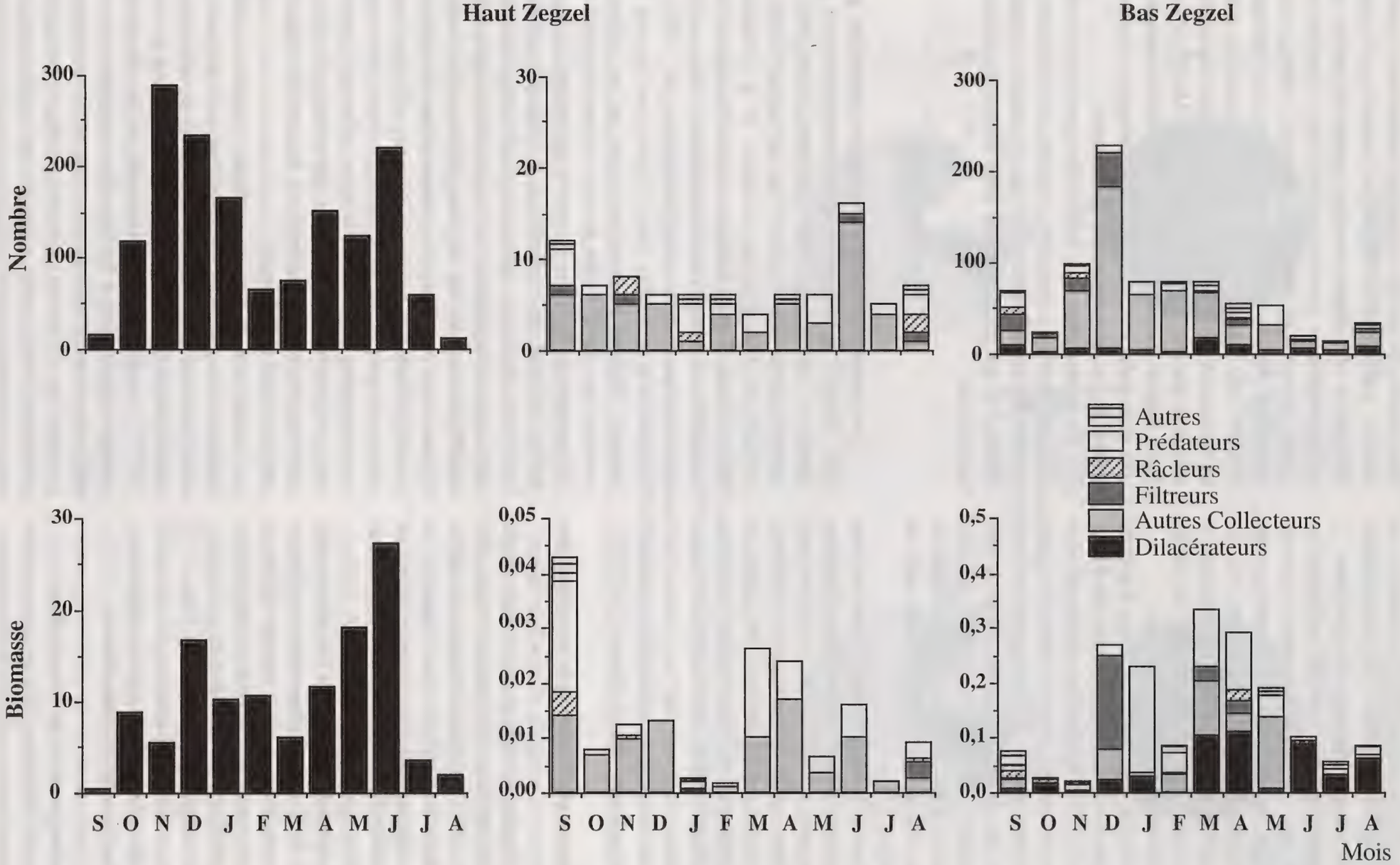


Fig. 3.– Évolution, en nombre (par 0,1 m^2) et en biomasse (g de poids sec par 0,1 m^2), des différents groupes trophiques présents dans le Haut et le Bas Zegzel, récoltés au filet Surber en 1991-92 (vu la dominance des dilacérateurs dans le Haut Zegzel, ces derniers ont été séparés des autres groupes et représentés avec une échelle différente).

Numbers (per 0.1 m^2) and biomass (g dry weight per 0.1 m^2) of the trophic groups present in the Upper and Lower Zegzel stations. Surber samples collected in 1991/1992 (considering their dominance, the shredders of the Upper Course were separated from the other groups and represented at a different scale).

Source : MNHN

biomasse relativement faible et il s'agit donc de petits individus résultant d'une reproduction récente. La deuxième période d'apports est suivie d'une remontée des effectifs et des biomasses, avec des individus plus gros.

A l'aval, les apports végétaux sont plus uniformes au cours de la période qui s'étend de novembre à juin et diminuent pendant l'été. Ils sont, toutefois, beaucoup plus faibles qu'en amont (noter la différence d'échelle, FIG. 2). De plus, près de la moitié de ces apports est constituée de débris végétaux dérivant de l'amont. En période de faibles apports, effectifs et biomasse animale diminuent.

Dans le Haut Zegzel, le groupe trophique dominant en nombre d'individus et en biomasse est celui des dilacérateurs ($p = 0{,}001$) (FIG. 3). Ces derniers, représentés surtout par *Melanopsis praemorsa*, sont la cause des deux pics précédemment mentionnés. L'importance de leurs effectifs montre que leur dominance en biomasse est loin d'être due uniquement à la prise en compte de leur coquille. La plupart des individus sont de petite taille en novembre-décembre. Ils sont moins nombreux mais de grande taille en mai-juin.

Dans le Bas Zegzel, les dilacérateurs sont très peu abondants. Ils montrent de légers maximums de biomasse en mars-avril puis en juin. A l'inverse, les collecteurs sont beaucoup plus nombreux qu'en amont (noter la différence d'échelle, FIG. 3) et atteignent des effectifs plus grands en décembre tout en demeurant de petite taille. Leur biomasse est plus importante en mai où ils sont moins nombreux mais plus gros.

La dominance des dilacérateurs en amont et des collecteurs en aval apparaît également dans la figure 4 ($p < 0{,}01$).

Faune invertébrée en relation avec la rétention des apports végétaux

Dans le Haut Zegzel, les dilacérateurs sont surtout présents au niveau des structures de rétention les plus efficaces : végétation riveraine, branches et barrages de débris de bois (FIG. 5). Selon l'histogramme des biomasses, les plus grands d'entre eux sont localisés dans les débris de bois, dans lesquels ils se réfugient tout particulièrement en hiver, période de faibles apports (FIG. 2).

En aval, les *Melanopsis* sont réduits à quelques individus de plus grosse taille dans les branches, les blocs et les galets. Le reste de la faune est composé de larves minuscules de filtreurs et autres collecteurs, et de quelques grosses larves de prédateurs (Libellulidae en particulier). Sa distribution dans l'espace paraît aléatoire (FIG. 5). A noter cependant dans ce secteur, le nombre et la biomasse élevés des Chironomidae durant la saison hivernale et particulièrement au niveau des algues filamenteuses.

Relations entre les composantes de l'écosystème

Ces résultats et des calculs basés sur les travaux antérieurs nous permettent de dresser la Figure 6. Elle exprime, pour les secteurs amont et aval de façon comparative : les flux annuels de matière organique particulaire grossière 'MOPG' tombant de la végétation riveraine sur les berges (MAAMRI *et al.*, 1994a) ; les flux annuels de matière organique particulaire grossière retenue sur le fond du cours d'eau "Rétention MOPG" (MAAMRI *et al.*, 1994a), les flux annuels de matière organique particulaire fine sédimentée "MOPF" (MAAMRI 1994, MAAMRI *et al.*, soumis) ; et enfin les flux annuels de matière organique dissoute transportés à travers un transect donné du cours d'eau "MOD" (MAAMRI *et al.*, soumis). Les moyennes annuelles de la biomasse des trois principales catégories de faune, tirées des données du présent article, sont également représentées.

La matière organique particulaire grossière et les dilacérateurs dominent nettement en amont, contrairement à la matière organique particulaire fine, la matière organique dissoute et aux collecteurs de fines particules qui dominent en aval.

DISCUSSION

Les quantités de matière organique particulaire grossière 'MOPG' mises en jeu sont considérablement plus grandes à l'amont qu'à l'aval. Cependant, la proportion de matière retenue dans le cours d'eau par rapport à celle qui provient des rives n'est pas la même : 46 % à l'amont et 94 % à l'aval, d'après la Figure 6 et ceci bien que le cours amont se soit révélé expérimentalement beaucoup plus rétenteur que le cours aval (CHERGUI *et al.*, (1993) et MAAMRI *et al.* (1994b)). Deux explications peuvent être fournies. D'abord, l'amont étant bordé par une végétation riveraine très dense, l'effet du vent (vecteur principal dans le transport de la litière au milieu aquatique) y est plus faible ; à l'aval, au contraire, où la végétation est beaucoup plus dispersée, une plus grande proportion de la litière peut être déplacée par le vent. Mais également la MOPG retenue provient en partie des rives et en partie de l'amont du cours d'eau. La station amont étant située à une cinquantaine de mètres de la source, elle reçoit nécessairement moins de particules que l'aval vers lequel convergent les apports de plusieurs affluents. Cette dernière explication s'applique également aux flux de matières organiques particulaires fines et dissoutes plus élevés à l'aval qu'à l'amont.

Les apports de matière organique végétale du milieu terrestre sont susceptibles de contribuer pour une part très importante au budget énergétique total du milieu aquatique (jusqu'à 99 % des ressources selon FISHER & LIKENS (1973). Leur valeur nutritionnelle, celle des feuilles mortes en particulier, a été bien démontrée dans les petits ruisseaux forestiers. Dans une étude sur la structure trophique des communautés faunistiques aux USA, MINSHALL (1967) avait constaté que la principale ressource d'énergie pour les consommateurs primaires et par

Source : MNHN

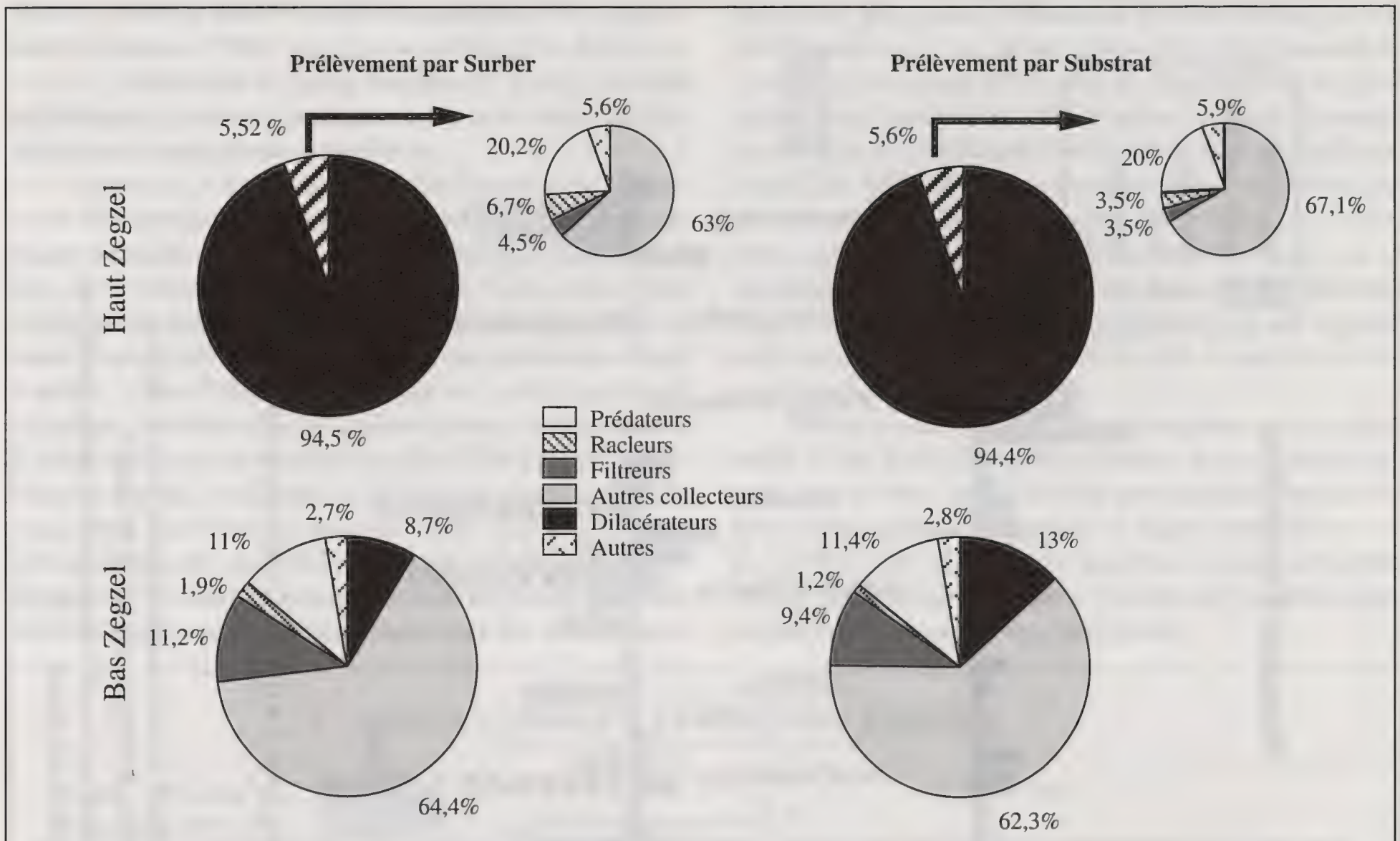


FIG. 4.– Comparaison entre les deux méthodes d'échantillonnage (substrats artificiels et filet Surber) de la faune benthique et proportion de chaque groupe trophique au niveau des deux stations durant l'année 1991-1992.

Comparison between the two sampling methods (artificial substrates and Surber nets) and proportions of the trophic groups in both stations in 1991-1992.

conséquent pour toutes les communautés benthiques, était d'origine allochtone (matière organique foliaire surtout). DARNELL (1964) a remarqué qu'à peu près 40 % des espèces répertoriées dans un ruisseau du Mexique ingéraient en quantité importante des détritus organiques constitués essentiellement de matériel foliaire d'origine terrestre. Dans une rivière de Géorgie (USA), NELSON & SCOTT (1962) ont trouvé que 66 % de la totalité du matériel consommé par les consommateurs primaires était d'origine allochtone. De ce fait, EGGLISHAW (1964) constatait que la distribution des détritus, le nombre total d'individus et leur biomasse étaient fortement corrélés. En utilisant des substrats contenant des morceaux de caoutchouc en forme de matériel foliaire et d'autres contenant de la matière organique, cet auteur conclut que la concentration plus importante de la faune dans ces derniers substrats était avant tout liée à des besoins alimentaires.

Cette relation entre matière organique allochtone et benthos est confirmée au Maroc par les travaux expérimentaux de CHERGUI & PATTEE (1991b) qui ont démontré la consommation des feuilles de Saule et de Laurier par le benthos et en particulier par les *Melanopsis*. L'importance des apports végétaux au niveau du secteur amont peut également expliquer la présence des larves de Limnephilidae. Cette famille est, en effet, largement inféodée à la végétation pour la construction de l'étui et/ou pour la nourriture (JUGET & ROUX 1982).

Dans l'Oued Zegzel, la biomasse totale des macroinvertébrés et des différents groupes trophiques, en particulier les dilacérateurs, évolue globalement selon le même schéma que celui des apports allochtones. PETERSEN & CUMMINS (1974) affirment que la majorité de la faune aquatique synchronise son cycle de vie à la chute automnale des feuilles. De même, RICHARD & MOREAU constatent en 1982 que le nombre de broyeurs croît significativement durant la période automnale (chute des feuilles) dans les eaux oligotrophes du Bouclier Canadien, alors que celui des organismes collecteurs-racleurs et filtreurs est plus faible durant cette période. De même, CULP *et al.* (1983) ont noté une corrélation négative entre la biomasse des collecteurs et la masse des particules de taille moyenne, mais une corrélation positive de cette biomasse avec la masse des particules fines. BARMUTA (1988) confirme cette constatation en trouvant une corrélation

Source : MNHN

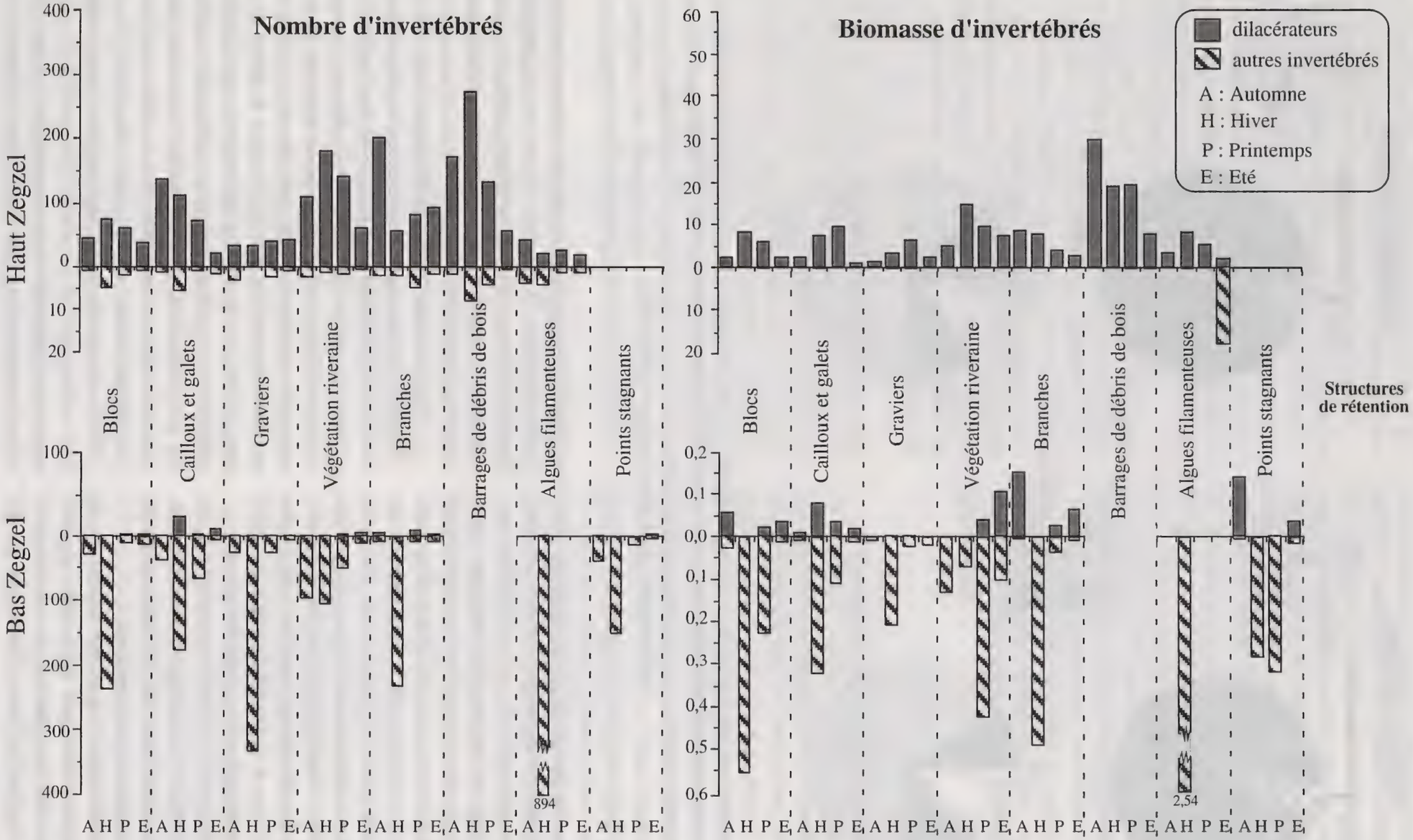


Fig. 5.– Nombre et biomasse (g de poids sec) des invertébrés collectés dans 0,1m^2 au niveau de chaque structure de rétention des deux secteurs aux quatre saisons. Il n'existait pas de barrages de débris de bois dans le Bas Zegzel.

Numbers and biomass (g dry weight) of invertebrates collected per 0.1m^2 within each retentive structure in both stations and all four seasons. No debris dams occurred in the Lower Zegzel.

Source : MNHN

positive entre la MOPG et les dilacérateurs. Plus récemment, CHERGUI (1989), dans le réseau fluvial du Rhône, et OERTLI (1993) dans un étang forestier en Suisse, ont mis en évidence la même corrélation temporelle entre matière détritique et macrofaune invertébrée.

Quoique la biomasse des dilacérateurs du Zegzel varie différemment selon le site étudié, elle augmente de façon marquée en amont durant la période automnale, lors de la chute des feuilles caduques. L'étude du cycle vital de *Melanopsis praemorsa* (KHARBOUA 1988) a montré que cette espèce présente trois générations dans l'année. L'une d'elles se développe en novembre, ce qui explique la petite taille des dilacérateurs à cette période. L'autre remontée de la biomasse des dilacérateurs suit le second apport, constitué de feuilles persistantes et de bois, avec un décalage de deux mois. L'explication la plus probable de ces phénomènes est que le premier pic d'apport est constitué essentiellement de feuilles tendres dont le temps de conditionnement par les micro-organismes est plus court (CHERGUI & PATTEE 1991a) ; de ce fait l'attaque par les dilacérateurs qui sélectionnent le matériel conditionné (CUMMINS & KLUG 1979) est plus rapide. Au contraire, lors du deuxième apport, le conditionnement des feuilles de Laurier et du bois nécessite un temps plus important, ce qui retarde leur exploitation par les invertébrés (CHERGUI & PATTEE 1991a). En effet, BUNN (1988) et MARCHANT (1988) ont souligné que le changement dans l'abondance et la richesse des dilacérateurs n'est pas exactement synchronisé avec les apports mais coïncide avec la période durant laquelle ces aliments deviennent disponibles.

Même en dehors des deux principaux pics de biomasse et de densité, les dilacérateurs sont toujours présents dans le Haut Zegzel. D'une part la faune met un certains temps à utiliser les apports et d'autre part MAAMRI *et al.* (1994a) ont montré que quoique considérablement réduits, des apports allochtones (feuilles de Laurier en particulier) ont lieu tout au long de l'année.

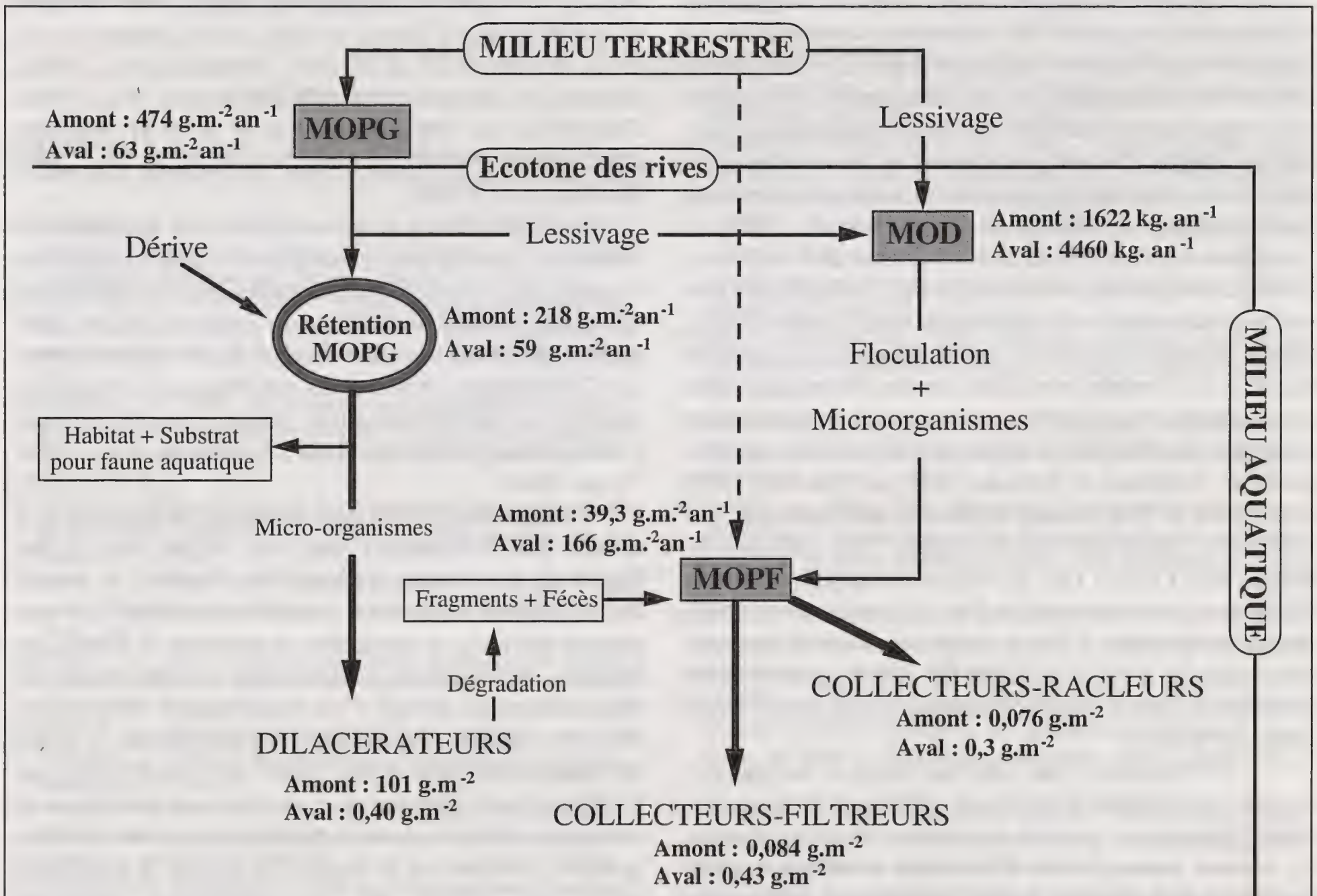


FIG. 6.– Schéma simplifié montrant la relation entre les apports allochtones végétaux et les différents groupes trophiques dans l'Oued Zegzel, d'après les présentes données, ainsi que MAAMRI (1994), MAAMRI *et al.*, (1994a) et MAAMRI *et al.*, (soumis à publication). MOPG = matière organique particulaire grossière, MOD = matière organique dissoute, MOPF = matière organique particulaire fine.

A simplified diagram of the relationships between allochthonous inputs and trophic groups in Oued Zegzel according to the present data and after MAAMRI (1994), MAAMRI et al., *(1994a), and MAAMRI* et al., *(submitted). MOPG = coarse particulate organic matter, MOD = dissolved organic matter, MOPF = fine particulate organic matter.*

Source : MNHN

La biomasse des collecteurs de fines particules dominant en aval croît à partir de décembre. A cette période, l'activité des dilacérateurs en amont a produit la matière organique fine consommée par ces collecteurs (MAAMRI *et al.,* soumis à la publication). Cette dépendance entre dilacérateurs et collecteurs a été signalée par plusieurs auteurs, notamment CHERGUI & PATTEE (1991a).

Dans le secteur amont, où la matière organique végétale grossière domine, les dilacérateurs sont les plus représentés. Ces derniers sont favorisés par un degré élevé de fermeture du couvert végétal (CUSHING *et al.,* 1983). RYDER & SCOTT (1988) constatent que la proportion des dilacérateurs augmente de 3,6 % à 15,4 % dans une rivière qui coule d'une prairie vers une forêt. Au contraire, les collecteurs de fines particules (racleurs et filtreurs) sont plus représentés dans un secteur aval où le couvert végétal est plus ouvert et où abondent les détritus incomplètement décomposés et la matière organique particulaire fine, comme le montre la figure 6.

Le *"River Continuum Concept"* ou RCC suggère un changement progressif des ressources alimentaires de l'amont vers l'aval de l'hydrosystème. Ce changement devrait être accompagné par un changement concomitant de l'organisation fonctionnelle des communautés benthiques, depuis l'amont des rivières où domineraient les organismes dilacérateurs, jusqu'à l'aval caractérisé par une nette dominance des collecteurs (VANNOTE *et al.,* 1980).

Dans des cours d'eau aux USA, HAWKINS & SEDELL (1981) d'une part puis MINSHALL *et al.,* (1982) d'autre part ont bien mentionné cette distribution longitudinale des différents groupes fonctionnels selon un gradient conforme au RCC. A l'inverse, travaillant sur une rivière de 55 Km de longueur, WARD (1986) concluait que la distribution longitudinale des groupes trophiques n'était pas conforme au RCC. STATZNER & HIGLER (1985) et WASSON (1989) considèrent le RCC comme un modèle très théorique, difficilement applicable sur le terrain. Très récemment, BERRAHOU (1995) fait la même constatation sur la Moulouya (représentée sur la FIG. 1). Les broyeurs dominent nettement dans la Haute Moulouya. Dans la Moyenne Moulouya, ce groupe trophique fait défaut, pour dominer de nouveau dans la Basse Moulouya, ce qui est en désaccord avec le RCC.

Il est logique, d'une part que débit et largeur des rivières augmentent vers l'aval, réduisant progressivement l'importance relative des rives et de leurs apports, et, d'autre part, que les débris fins et dissous soient entraînés par le courant, d'où la zonation des communautés d'invertébrés qui exploitent ces ressources. L'incompatibilité du RCC avec plusieurs cours d'eau (TOWNSEND & HILDREW 1984, CUMMINS *et al.* 1984, WARD 1986, BERRAHOU 1995...) témoigne de perturbations dans ces gradients abiotiques, dont VANNOTE *et al.* (1980) admettent parfaitement qu'elles peuvent faire repartir le continuum de son origine, ou faire glisser certains de ses niveaux vers l'amont ou vers l'aval. Ceci ne remet nullement en cause la relation entre les communautés d'invertébrés aquatiques et les conditions environnementales de chaque rivière, en particulier l'hydrologie et la végétation des rives, relation qui fait l'objet de la présente démonstration.

A l'échelle locale du Haut Zegzel, les dilacérateurs colonisent par ordre décroissant : barrages de débris de bois - végétation riveraine - branches - cailloux et galets. Les grands spécimens de crabes et de gastéropodes se trouvent dans les barrages de débris de bois. Ces invertébrés colonisent donc préférentiellement les structures qui retiennent le plus de feuilles (MAAMRI *et al.,* 1994b) c'est-à-dire l'habitat le plus approvisionné en matière organique végétale. ROEDING & SMOCK (1989) ont également trouvé une densité et une biomasse de dilacérateurs 4 à 5 fois plus grandes dans les barrages de débris de bois qu'au niveau du sédiment. Cette relation entre dilacérateurs et rétention des particules grossières avait été mise en évidence par d'autres auteurs, tels CUMMINS *et al.,* 1980, WINTERBOURN *et al.* 1981, MINSHALL *et al.,* 1982, ROUNICK & WINTERBOURN 1983, MINSHALL *et al.,* 1983, CUMMINS *et al.,* 1989, PROCHAZKA *et al.* 1991, HILDREW *et al.,* 1991, WINKLER 1991, CHERGUI *et al.,* 1993, MAAMRI *et al.,* 1994b.

Les invertébrés peuvent utiliser ces structures de rétention de différentes manières : elles constituent d'abord des ressources alimentaires, ensuite un habitat favorable protégé de la force du courant tout en étant approvisionné en oxygène dissous (zones d'eau morte). Les Trichoptères y trouvent les matériaux pour leurs fourreaux et de nombreuses autres espèces un substrat pour l'oviposition (ANDERSON 1982, ANDERSON *et al.* 1984, TRISKA 1984).

Comme nous l'avons déjà mentionné, la biomasse et le nombre des dilacérateurs sont assez faibles dans le Bas Zegzel où ces derniers semblent être distribués au hasard. Ils sont souvent absents des structures rétentrices. Les plus grandes biomasse et abondance se trouvent au niveau des branches. WINTERBOURN (1982) a aussi signalé la rareté des dilacérateurs au niveau d'un ruisseau non rétenteur en Nouvelle Zélande. Cependant, nous interprétons la rareté des dilacérateurs dans le Bas Zegzel, non pas tellement par le faible pouvoir rétenteur de ce secteur, mais surtout par un manque de matière organique végétale à exploiter. En effet, la MOPG retenue sur le fond (59 $g.m^{-2}.an^{-1}$), mais aussi celle qui tombe de la végétation riveraine (63 $g.m^{-2}.an^{-1}$) sont en faibles quantités (FIG. 6). Les crues surgies dernièrement au niveau de la vallée ont emporté la presque totalité de cette végétation. Il serait intéressant de voir quel serait l'impact d'un rétablissement de la végétation sur les apports et la rétention de matière organique particulaire, ainsi que sur la composition de la faune aquatique.

Source : MNHN

CONCLUSIONS

Il y a donc une relation entre la nature, la quantité et la localisation des apports végétaux allochtones d'une part, la nature, la biomasse et la microdistribution de la macrofaune aquatique d'autre part.

Le Haut Zegzel, par ses caractéristiques propres (largeur très faible du cours d'eau, végétation riveraine très dense, pouvoir rétenteur très élevé et par suite abondance de la matière organique végétale allochtone), a favorisé le développement d'un peuplement aquatique original dominé par l'espèce *Melanopsis praemorsa*, principal dilacérateur du Zegzel. A l'inverse, la rareté de la matière organique végétale à exploiter gène l'installation de ce groupe trophique en aval. Du fait de l'alimentation du secteur aval en matière organique fine à partir de l'amont (notamment du Haut Zegzel), et de sa tendance autotrophe (MAAMRI *et al.*, soumis à publication), ce secteur a favorisé le développement des organismes microphages racleurs et filtreurs.

RÉFÉRENCES

ANDERSON, N. H., 1982.– A survey of aquatic insects associated with wood debris in New Zealand streams. *Mauri Ora*, 10 : 21-33.

ANDERSON, N. H., STAADMAN, R. J. & DUDLEY, T., 1984.– Patterns of exploitation by stream invertebrates of wood debris (xylophagy). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22 : 1847-1852.

BARMUTA, L.A., 1988.– Benthic organic matter and macroinvertebrate fonctional feeding groups in a forested upland stream in temperate Victoria. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 23 : 1394-1398.

BERRAHOU, A., 1995.– *Recherches sur la distribution longitudinale des macroinvertébrés benthiques : cas du Rhône Français et des cours d'eau Marocains.* Thèse Univ. Mohamed I^{er}, Fac. Sci., Oujda. 211 p.

BUNN, S.E., 1988.– Aspects of the functional organization of the northern jarrah forest, Western Australia. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 23 : 1388.

CELLOT, B., 1982.– Cycle annuel et zonation de la dérive des macro-invertébrés du Rhône en amont de Lyon. Thèse Univ. Lyon I, 167 p.

CHERGUI, H., 1989.– Flux des particules grossières de matière organique allochtone et autochtone dans un bras mort du Rhône. *Rev. Sci. Eau.* 2 : 565-585.

CHERGUI, H., MAAMRI A. & PATTEE E., 1993.– Leaf litter retention in two reaches of a Moroccan mountain stream. *Limnologica* 23 : 29-37.

CHERGUI, H. & PATTEE, E., 1991a.– Dégradation des feuilles mortes allochtones dans le réseau de la Basse Moulouya, au Maroc. *Acta oecol.*, 12 : 543-560.

CHERGUI, H. & PATTEE, E., 1991 b.– An experimental study of the breakdown of submerged leaves by hyphomycetes and invertebrates in Morocco. *Freshwat. Biol.*, 26 : 97-110.

CULP J.M., WALDE S.J. & DAVIES R.W. 1983.– Relative importance of substrate particle size and detritus to stream benthic macroinvertebrate microdistribution. *Can. J. Fish. aquat. Sci.* 40 : 1568-1574.

CUMMINS, K.W. & KLUG, M.J., 1979.– Feeding ecology of stream invertebrates. *Ann. Rev. Ecol. System.*, 10 : 147-172.

CUMMINS, K.W., SPENGLER, G.L., SPEAKER, R.M., OVINK, R.W., MOHAN, D.C. & MATTINGLY, R.L., 1980.– Processing of confined and naturally entrained leaf litter in a woodland stream ecosystem. *Limnol. Oceanogr.*, 25 : 952-957.

CUMMINS K.W., MINSHALL G.W., SEDELL J.R., CUSHING C.E. & PETERSEN R.C., 1984.– Stream ecosystem theory. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22 : 1818-1827.

CUMMINS, K.W. & WILZBACH, A.M., 1985.– Field procedures for analysis of functional feeding groups of stream macroinvertebrates. Contribution 1611 Univ. Maryland, Frostburg : 18 p.

CUMMINS, K.W., WILZBACH, M.A., GATES, D.M., PERRY, J. & TALLIAFERRO, W.B., 1989.– Shredders and riparian vegetation. *BioScience*, 39 : 24-30.

CUSHING C.E., McINTIRE C.D., CUMMINS K.W., MINSHALL G.W., PETERSEN R.C., SEDELL J.R. & VANNOTE R.L., 1983.– Relationships among chemical, physical and biological indices along river continua based on multivariate analyses. *Arch. Hydrobiol.*, 98 : 317-326.

DARNELL, R.M., 1964.– Organic detritus in relation to secondary production in aquatic communities. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 15 : 462-470.

EGGLISHAW, H.J., 1964.– The quantitative relationships between bottom fauna and plant detritus in streams of differents calcium concentrations. *J. appl. Ecol.*, 5 : 731-740.

FISHER, S.G. & LIKENS, G.E., 1973.– Energy flow in Bear Brook, New Hampshire : an integrative approach to stream ecosystem metabolism. *Ecol. Monog.*, 43 : 421-439.

HAWKINS, C. P. & SEDELL, J. R., 1981.– Longitudinal and seasonal changes in functional organization of macroinvertebrate communities in four Oregon streams. *Ecology*, 62 : 387-397.

HILDREW, A.G., DOBSON, M.K., GROOM, A., IBBOTSON, A., LANCASTER, J. & RUNDLE, S.D., 1991.– Flow and retention in the ecology of stream invertebrates. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 24 : 1742-1747.

JUGET, J. & ROUX, A.L., 1982.– Une lône du Rhône, zone humide en position de lisière dans l'espace et dans le temps. *Bull. Ecol.*, 2 : 109-124.

KHARBOUA, M., 1988.– *Ecologie des mollusques dulcicoles de la Meseta côtière marocaine*. Thèse Univ. Kadi Ayad, Fac. Sci. Marrakech, 114 p.

MAAMRI, A., 1994.– *Flux, rétention et incorporation des apports allochtones végétaux dans les réseaux trophiques des eaux douces de la Basse Moulouya*. Thèse Univ. Mohamed I^{er} ; Fac. Sci. Oujda. 132 p.

MAAMRI, A., CHERGUI, H. & PATTEE, E., 1994a.– Allochthonous input of coarse organic matter to a Moroccan mountain stream. *Acta œcol.*, 15 : 495-508.

MAAMRI, A., CHERGUI, H. & PATTEE, E., 1994b.– La rétention des feuilles mortes dans deux stations d'un cours d'eau de montagne, au Maroc : Variations saisonnières. *Annls Limnol.*, 30 : 323-332.

MAAMRI, A., CHERGUI, H. & PATTEE, E.– The dynamics of fine particulate and dissolved organic matter in Oued Zeghzel, a Moroccan Mountain stream (soumis à publication).

MALMQVIST B., NILSSON L.M. & SVENSSON B.S., 1978.– Dynamics of detritus in a small stream in southern Sweden and its influence on the distribution of bottom animal communities. *Oikos*, 31 : 3-16.

MARCHANT R. 1988.– Seasonal and longitudinal patterns in the macroinvertebrate communities of cobbles from the Upper La Trobe River, Victoria, Austalia. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 23 : 1389- 1393.

Source : MNHN

MINSHALL, G.W., 1967.– Role of allochthnous detritus in the trophic structure of a woodland spring brook community. *Ecology*, 48 : 139-149.

MINSHALL, G.W., BROCK, J.T. & LAPOINT, T.W., 1982.– Characterization and dynamics of benthic organic matter and invertebrate functional feeding group relationships in the Upper Salmon River, Idaho (USA). *Internat. Revue ges. Hydrobiol.*, 67 : 793-820.

MINSHALL, G.W., PETERSEN, R.C., CUMMINS, K.W., BOTT, T.L., SEDELL, J.R., CUSHING, C.E. & VANNOTE, R.L., 1983.– Interbiome comparison of stream ecosystem dynamics. *Ecol. Monogr.*, 53 : 1-25.

NELSON, D.J. & SCOTT, D.C., 1962.– Role of detritus in the productivity of a rock-outcrop community in a piedmont stream. *Limnol. Oceanogr.*, 7 : 396-413.

OERTLI, B., 1993.– Leaf processing and energy flow through macroinvertebrates in a woodland pond (Switzerland). *Œcologia*, 96 : 466-477.

PETERSEN, R.C. & CUMMINS, K.W., 1974.– Leaf processing in a woodland stream. *Freshwat. Biol.*, 4 : 343-368.

PROCHAZKA, K., STEWART, B.A. & DAVIES, B.R., 1991.– Leaf litter retention and its implication for shredder distribution in two headwater streams. *Arch. Hydrobiol.*, 120 : 315-325.

RICHARD, Y. & MOREAU, G., 1982.– Utilisation des feuilles de différentes espèces d'arbres (peuplier, aulne, myrique) par la faune benthique dans les eaux oligotrophes du Bouclier Canadien. *Hydrobiologia*, 96 : 77-89.

RICHARDOT-COULET, M., CHESSEL, D. & BOURNAUD, M., 1986.– Typological value of the benthos of old beds of a large river. Methodological approach. *Arch. Hydrobiol.*, 107 : 363-383.

ROEDING, C.E. & SMOCK, L.A., 1989.– Ecology of macroinvertebrate shredders in a low-gradient sandy-bottomed stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 8 : 149-161.

ROUNICK, J.S. & WINTERBOURN, M.J., 1983.– Leaf processing in two contrasting beech forest streams : effects of physical and biotic factors on litter breakdown. *Arch. Hydrobiol.*,96 : 448-474.

RYDER G.I. & SCOTT D., 1988.– The applicability of the River Continuum Concept to New Zealand streams. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 23 : 1441- 1445.

STATZNER, B. & HIGLER, B. 1985.– Questions and comments on the River Continuum Concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42 : 1038-1044.

TACHET, H., BOURNAUD, H. & RICHOUX, P., 1980.– Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux courantes. Assoc. Fr. Limnol. et Univ. Lyon I : 156 p.

TOWNSEND C.R. & HILDREW A.G., 1984.– Longitudinal pattern in detritivore communities of acid streams : a consideration of alternative hypotheses. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22:1953- 1958.

TRISKA, F. J., 1984.– Role of woody debris in modifying channel geomorphology and riparian areas of a large lowland river under pristine conditions : a historical case study. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22 : 1876- 1892.

VANNOTE, R.L., MINSHALL, G.W., CUMMINS, K.W., SEDELL, J.R. & CUSHING, C.E., 1980.– The river continuum concept. *Can. J. Fish. aquat. Sci.*, 37 : 130-137.

WARD J.V., 1986.– Altitudinal zonation in a Rocky Mountain stream. *Arch. Hydrobiol., Suppl.* 74 : 133-199.

WASSON, J.G., 1989.– Eléments pour une typologie fonctionnelle des eaux courantes : 1. Revue critique de quelques approches existantes. *Bull. Ecol.* 20 : 109-127.

WINKLER, G., 1991.– Debris dams and retention in a low order stream (a backwater of Oberer Seebach - Ritrodat-Lunz Study Area, Austria). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 24 : 1917-1920.

WINTERBOURN, M.J., 1982.– The River Continuum Concept. Reply to Barmuta and Lake. *N.Z.J. Mar. Freshwat. Res.*, 16 : 229-231.

WINTERBOURN, M.J., ROUNICK, J.S. & COWIE, B., 1981.– Are New Zeland stream ecosystems really different ? *N. Z. J. Mar. Freshwat. Res.*, 15 : 321-328.

ENGLISH ABRIDGED VERSION

Our aim was to investigate the effect of allochthonous particulate plant input and retention on the dynamics of the macroinvertebrate fauna in a Moroccan mountain stream, Oued Zegzel, under the warm climate of the southern shore of the Mediterranean Sea. The information on allochthonous input was from former or simultaneous publications. The input of Coarse Particulate Organic Matter (CPOM) had been evaluated monthly in quadrats, and the input of Fine Particulate Organic Matter (FPOM) in sediment traps on the stream bottom. Dissolved Organic Matter (DOM) was also evaluated over the year. For the present paper, the fauna was investigated by two different methods : conventional Surber nets and artificial substrates made of rope. Both gave similar results ($p > 0.05$), thus validating the description of the fauna by the rope substrates.

Vegetation was dense along the upper course of the stream and litter was shed throughout the year, with two peak inputs : October-November when deciduous leaves, with a high proportion of broad-leaved willow, were shed, and March-April when the evergreen leaves of oleander and twigs were shed. Benthic invertebrate numbers and biomass increased during autumnal litter input and included many small individuals, thus confirming late reproduction under this climate. Numbers and especially biomass increased again after the spring input, suggesting reproduction and growth.

Vegetation was sparse along the downstream station, it had been carried away by recent floods. Overall litter input was much lower than upstream and more uniformly distributed from November till June. Over half this input was plant debris drifting down from upstream. Invertebrate numbers and biomass were lowest in summer, when litter input nearly ceased. FPOM sedimentation was four times and DOM three times those upstream.

In the Upper Zegzel, shredders were by far the dominant trophic group, both by numbers and biomass. The small prosobranch gastropod *Melanopsis praemorsa* was the cause of the two peaks in numbers and biomass mentioned above. In the downstream station, shredders were scarce and sometimes large in spring and early summer, and both gathering and filtering collectors were much (up to 10 times) more numerous than upstream. A few predators (dragonfly larvae) also occurred. Upstream - downstream differences in numbers were significant ($p < 0.01$).

The benthic structures that trapped most drifting leaves in the upper course were debris dams, submerged branches, and the riparian vegetation. Greatest numbers of invertebrates also occurred in these structures, with the larger specimens (crabs and gastropods) in debris dams. All these structures provide both shelter and food. Debris dams were absent downstream, where the retentive structures were mainly the riparian vegetation and pools. Invertebrates were scarce in all downstream structures, except in filamentous algae in winter. We interpret this scarcity more as a consequence of low CPOM input (59 g m^{-2} a^{-1} versus 218 g m^{-2} a^{-1} upstream) than as a consequence of different retention capacity, that was not definitely lower than upstream.

Much CPOM entered the upper reaches of the stream and was trapped there. The lower reaches received FPOM and DOM from upstream. Thus, in agreement with the River Continuum Concept but at a much narrower scale, there was a correlation between CPOM and shredders upstream, and between detritus, FPOM, DOM, and collectors downstream.

Source : MNHN

Ecologie, t. 26 (2) 1995 : 95-104

LIGOPHORUS IMITANS (MONOGENEA) ECTOPARASITE DE *LIZA RAMADA* (TELEOSTEI)

I. POPULATIONS NATURELLES ET VARIABILITÉ MORPHOLOGIQUE*

Hervé CALTRAN[1], Patrick SILAN[1] & Maurice ROUX[2]

[1]URA CNRS 698 "Biologie des Populations d'Helminthes Parasites", Station Méditerranéenne de l'Environnement Littoral, Université Montpellier II, 1 quai de la Daurade, 34200 Sète.

[2]URA CNRS 1152, Institut Méditerranéen d'Écologie et de Paléoécologie, Faculté des Sciences St. Jérôme, Avenue Normandie-Niemen, 13397 Marseille Cedex 13.

SUMMARY
(original scientific paper)

LIGOPHORUS IMITANS *(MONOGENEA) ECTOPARASITE OF* LIZA RAMADA *(TELEOSTEI) : I. NATURAL POPULATIONS AND MORPHOLOGICAL VARIABILITY*

Different congeneric species of the genus Ligophorus *are ectoparasites of mullets (Teleostei). Several species of* Ligophorus *which are strictly specific can coexist on the same host species. Due to the host migration between the sea and lagoons, these parasite guilds are subject to fluctuating environmental constraints. The nature of the phenotypic variability of* L. imitans *has been analysed. This study concerns an isolated population (Rhône delta, Camargue, France) of* L. imitans, *parasite of* Liza ramada. *A biometric analysis using image processing techniques is developped. Fourteen biometric variables concerning the sclerotized parts (*opisthaptor *and* genitalia*) of this platyhelminth have been considered. The phenotypic variability has been analysed using a principal component analysis. This population displays a great morphological and anatomical plasticity, but in a continuum. The different parts of these organisms cannot be described by simple and generalised allometric growths. The correlation analysis between the different variables reveals in particular that the genitalia is morphologicaly independent of the haptor.*

KEY WORDS : *Liza ramada* - Mugilidae - *Ligophorus imitans* - Monogenea - Population biology - Morpho-anatomical variability - Camargue - France.

RÉSUMÉ
(travail original)

Les Muges (Teleostéens) sont parasités par des Monogènes congénériques du genre Ligophorus. *Ces ectoparasites branchiaux ont une spécificité stricte ; plusieurs espèces peuvent néanmoins coexister sur une même espèce hôte, constituant ainsi de véritables guildes. Les hôtes circulent entre mer et lagunes dans des environnements changeants ; ces guildes sont donc soumises à des contraintes environnementales fluctuantes. La variabilité phénotypique d'un de ces monogènes,* L. imitans, *parasite de* Liza ramada, *est analysée à l'échelle d'une population géographiquement isolée dans le delta du Rhône (Camargue, France). Une étude biométrique des pièces sclérifiées du hapteur et de l'appareil génital (14 variables), s'appuyant sur des techniques d'analyse d'images, est menée. Une analyse en composantes principales permet d'identifier une variabilité morpho-anatomique assez importante dans cette population, mais au sein d'un continuum. Les différentes parties de ces organismes ne répondent pas à une croissance allométrique simple et généralisée. L'analyse des corrélations entre variables montre notamment que le système génital est morphologiquement indépendant du système de fixation.*

MOTS CLÉS : *Liza ramada* - Mugilidae - *Ligophorus imitans* - Monogenea - Biologie des populations - Variabilité morpho-anatomique - Camargue - France.

* Manuscrit reçu le 6 mars 1995 ; version révisée et acceptée pour publication le 9 octobre 1995

Source : MNHN

INTRODUCTION

Les relations possibles entre la variabilité des espèces et leur spéciation ont pris un intérêt tout particulier en biologie évolutive. La révision synthétique de la théorie darwinienne a notamment mis l'accent sur la dimension populationnelle de cette variabilité (MAYR, 1974, 1991). Dans le cas du parasitisme, EUZET & COMBES (1980) ont soulevé le problème de l'espèce et de la spéciation en considérant, notamment, le polymorphisme phénotypique interspécifique. A l'échelle populationnelle et pour les systèmes Hôtes-Parasites, les interactions entre variabilité locale et facteurs environnementaux n'ont été que très peu étudiées.

Chez les Monogènes, ces études sont rares, relativement récentes et essentiellement descriptives. Ainsi GLÄSER (1965), ERGENS (1965a et b), GUSSEV (1967), KULEMINA (1988) ont décrit chez les Monogènes Monopisthocothylea du genre *Dactylogyrus* et *Gyrodactylus* un polymorphisme phénotypique intraspécifique et une variabilité des pièces sclérifiées du hapteur (système d'ancrage des parasites sur l'hôte). Quelques auteurs ont cherché à expliquer cette variabilité par l'influence de facteurs environnementaux tels que la saison (ERGENS, 1974, 1975, 1976, 1981), puis plus précisément par les variations saisonnières de la température (OGAWA, 1985 ; MO, 1991a et b). La recherche de corrélations entre variation de longueur des pièces haptoriales et température a été étudiée expérimentalement pour les genres *Dactylogyrus* et *Gyrodactylus* (ERGENS & GELNAR, 1985 ; MO, 1991c). Des analyses à une échelle biogéographique étendue ont aussi été menées : la latitude pourrait intervenir chez certains Polyopisthocothylea (ROHDE & WATSON, 1985 ; ROHDE, 1987). La structure du biotope branchial a également été pressentie comme élément susceptible d'expliquer la variabilité phénotypique intraspécifique dans le genre *Diplectanum* (SILAN & MAILLARD, 1989). Le polymorphisme phénotypique du hapteur des *Gyrodactylus,* associé à la dérive génétique de leurs hôtes, a été étudié par MALMBERG (1987). Plus récemment et pour des Digènes, REVERSAT *et al.* (1991) ont montré les limites de la définition de certaines espèces nouvelles à partir des polymorphismes phénotypiques et enzymatiques.

Parmi les problèmes que pose la variabilité morpho-anatomique chez ces parasites, le caractère plus adaptatif (sous entendu par rapport à l'échelle de temps considérée...) du système de fixation (crochets, barres transversales...), comparé à l'appareil génital, est un sujet de controverse n'ayant pas véritablement reçu de réponse convaincante. La raison principale tient à l'absence d'approche populationnelle. Les différents niveaux de perception que sont l'espèce-hôte, la population d'hôtes ou l'individu-hôte, et leur incidence sur la plasticité morphologique, n'ont jamais été véritablement pris en compte.

La variabilité est abordée ici à l'échelle des deux derniers niveaux précités : population et individus-hôtes. Six espèces de Muges ou Mulets (Mugilidae) vivent en Méditerranée. Ces poissons sont parasités par douze espèces distinctes d'ectoparasites branchiaux du genre *Ligophorus*. Ces Monogènes ont une spécificité stricte, une espèce de monogène ne parasitant qu'une espèce d'hôte (oioxénie). Certaines espèces cohabitent sur une même espèce-hôte. Un polymorphisme phénotypique interspécifique, faible mais suffisant, permet de distinguer ces organismes par leur appareil reproducteur et leur opisthohapteur (EUZET & SURIANO, 1977 ; EUZET & SANFILIPPO, 1983). Ainsi trois espèces de *Ligophorus* vivent en sympatrie, voire en syntopie, sur les branchies de *Liza ramada* (Risso, 1826). Nous nous intéresserons ici à la plasticité morphologique intraspécifique des organes de fixation et de reproduction de l'une d'entre elles, *Ligophorus imitans*.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'hôte.– L'étude a été réalisée sur une population d'hôtes échantillonnée dans le delta du Rhône en Camargue (France) (FIG. 1). Les poissons ont été capturés dans l'étang du Vaccarès, un milieu lagunaire saumâtre, et l'une de ses dépendances dulçaquicoles, le canal du Fumemorte. Actuellement, cet étang a une seule communication avec la mer. La sortie en mer des poissons adultes est quasi inexistante. En hiver, la plupart d'entre eux migrent dans le canal du Fumemorte, alors que les jeunes de l'année restent préférentiellement dans l'étang. Les adultes retournent dans la lagune lorsque les températures printanières augmentent. Les 29 hôtes utilisés pour cette étude ont été échantillonnés de septembre 1989 à avril 1990 dans trois stations : i) la première dans le Vaccarès, au lieu dit "Romieu", milieu lagunaire saumâtre (salinité de 20‰) ; ii) la seconde en zone de transition à "l'embouchure" du canal du Fumemorte (salinité variable entre 5 et 15‰) ; iii) la troisième dans le canal du "Fumemorte", milieu dulçaquicole (Station Biologique de la Tour du Valat). Ces poissons ont été capturés vivants à l'aide de filets ou de "capetchades" (filet fixe avec nasse). Ils ont été placés dans l'alcool dès leur sortie de l'eau, puis congelés quelques heures plus tard.

Le parasite.– Les parasites, montés entre lame et lamelle dans du Berlèse, sont déterminés au microscope photonique. Quatorze variables concernant les pièces sclérifiées du hapteur et de l'appareil génital (FIG. 2) ont été considérées pour l'analyse multidimentionnelle : HV1, HV2, HV3, HVG (crochets ventraux), BV1, BV2 (barres ventrales), HD1, HD2, HD3, HDG (crochets dorsaux) P1, P2, P3 (pénis), VG (vagin). Cette analyse porte sur 449 indivi-

Source : MNHN

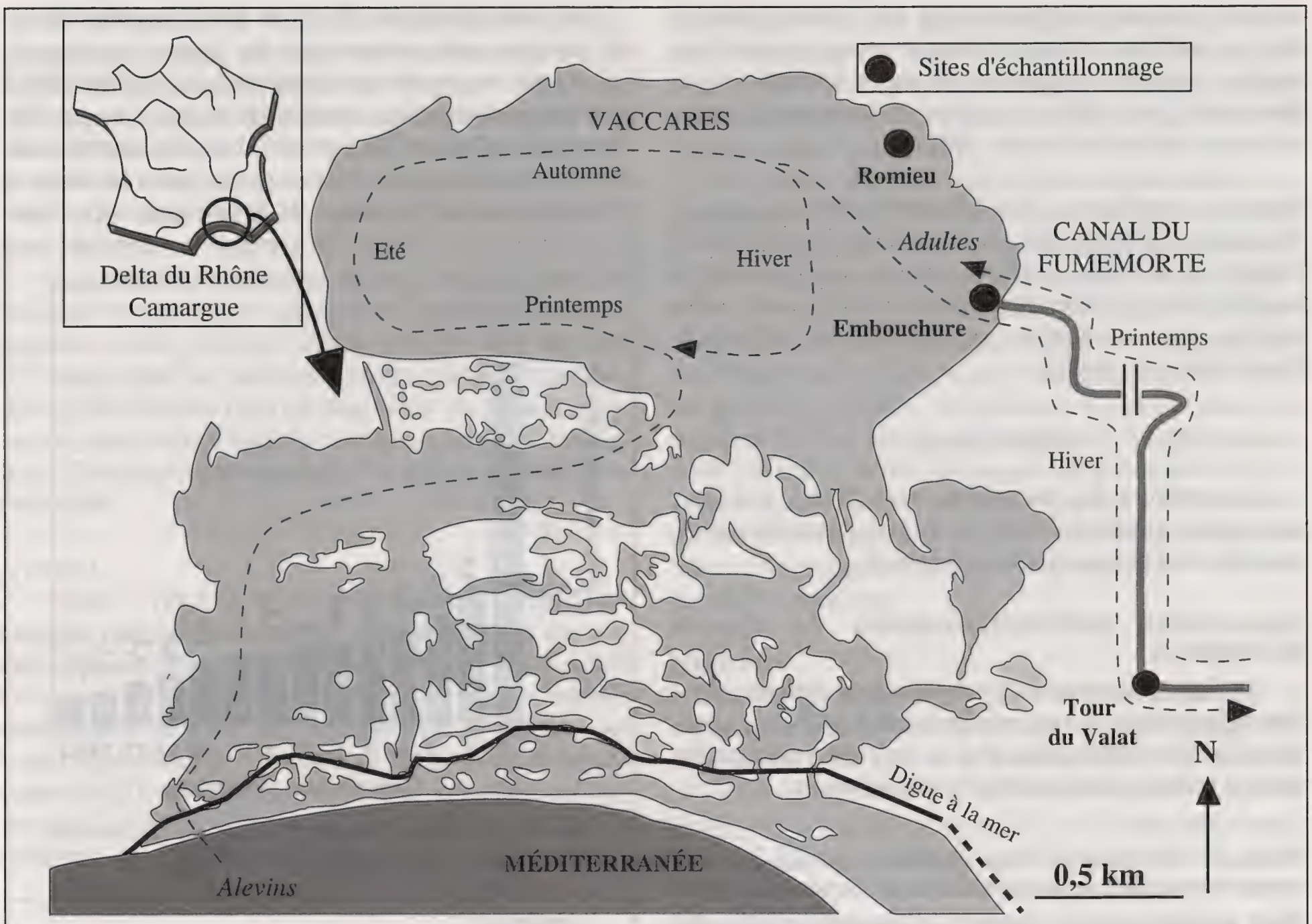


FIG. 1.– L'étang du Vaccarès, le canal du Fumemorte et les sites d'échantillonnages.
The Vaccares lagoon, the Fumemorte canal and the sampling sites.

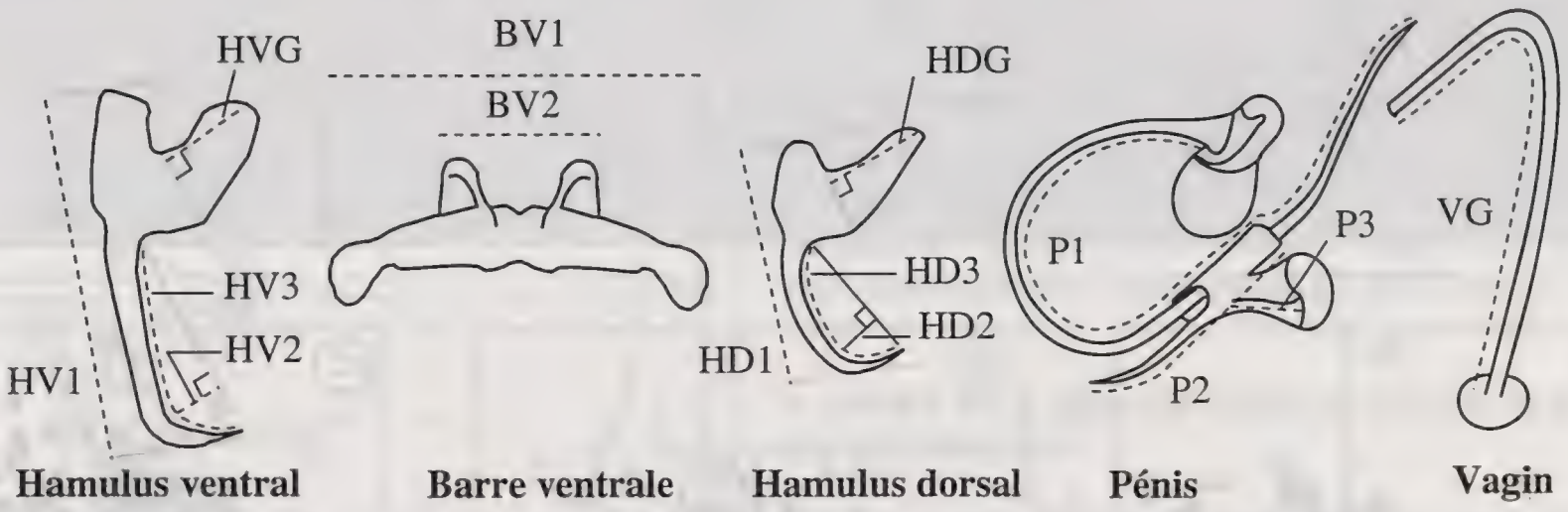


FIG. 2.– Pièces sclérifiées du hapteur et de l'appareil génital : variables biométriques étudiées. HV1 : longueur totale du hamulus ventral ; HV2 : profondeur de la lame du hamulus ventral ; HV3 : longueur totale de la lame du hamulus ventral ; HVG : longueur de la garde du hamulus ventral ; BV1 : longueur de la barre ventrale ; BV2 : longueur entre les protubérances de la barre ventrale ; HD1 : longueur totale du hamulus dorsal ; HD2 : profondeur de la lame du hamulus dorsal ; HD3 : longueur totale de la lame du hamulus ventral ; HDG : longueur de la garde du hamulus ventral ; P1 : longueur totale du pénis ; P2 : longueur de la pièce accessoire ; P3 : longueur de l'expansion latérale ; VG : longueur de la partie sclérifiée du vagin.

The biometrical variables of the opisthaptor and genitalia sclerotized parts. HV1 : total length of the ventral anchor ; HV2 : blade depth of the ventral anchor ; HV3 : total length of the ventral anchor blade ; HVG : length of the ventral anchor guard ; BV : length of the ventral bar ; BV2 : inter-protuberance length of the ventral bar ; HD1 : total length of the dorsal anchor ; HD2 : blade depth of the dorsal anchor ; HD3 : total length of the dorsal anchor blade ; HDG : length of the dorsal anchor guard ; P1 : penis total length ; P2 : length of the penis accessory part ; P3 : length of the lateral expension ; VG : length of the vagina hard part

Source : MNHN

dus de *L. imitans*. Les mesures (en µm) ont été réalisées avec un analyseur d'image associant un microscope photonique couplé à une caméra, elle-même connectée à un Macintosh Quadra 800. Le logiciel de traitement d'image utilisé est Optilab (ANONYME, 1992).

Analyse numérique.– Une Analyse en Composantes Principales (ACP) portant sur les individus parasites et les variables biométriques a été réalisée. Les variables ont été standardisées (centrées et réduites). L'ACP porte sur la matrice r des corrélations avec le logiciel BIOMECO (LEBRETON *et al.*, 1990).

RÉSULTATS

Les valeurs des moyennes, écart-types, minima, maxima et coefficients de variation des différentes variables sont indiquées dans le tableau I.

VARIATIONS MORPHOLOGIQUES ET PLANS FACTORIELS

La figure 3 représente la proportion de variance associée à chacun des 14 axes principaux de l'ACP. Les 2 premiers facteurs expliquent 38,5 % de cette variance. Le premier facteur a une importance prépondérante.

Les plans factoriels F1/F2 de l'ACP portant sur les 449 parasites sont présentés dans les figures 4a, 4b et 4c. Ces figures représentent respectivement les plans F1/F2 pour les parasites de la station "Romieu" ; du lieu-dit "Embouchure" et du "Fumemorte". Les faits suivants sont notés : a) les parasites de chacun des lieux ne forment qu'un seul nuage de points de forme assez régulière.

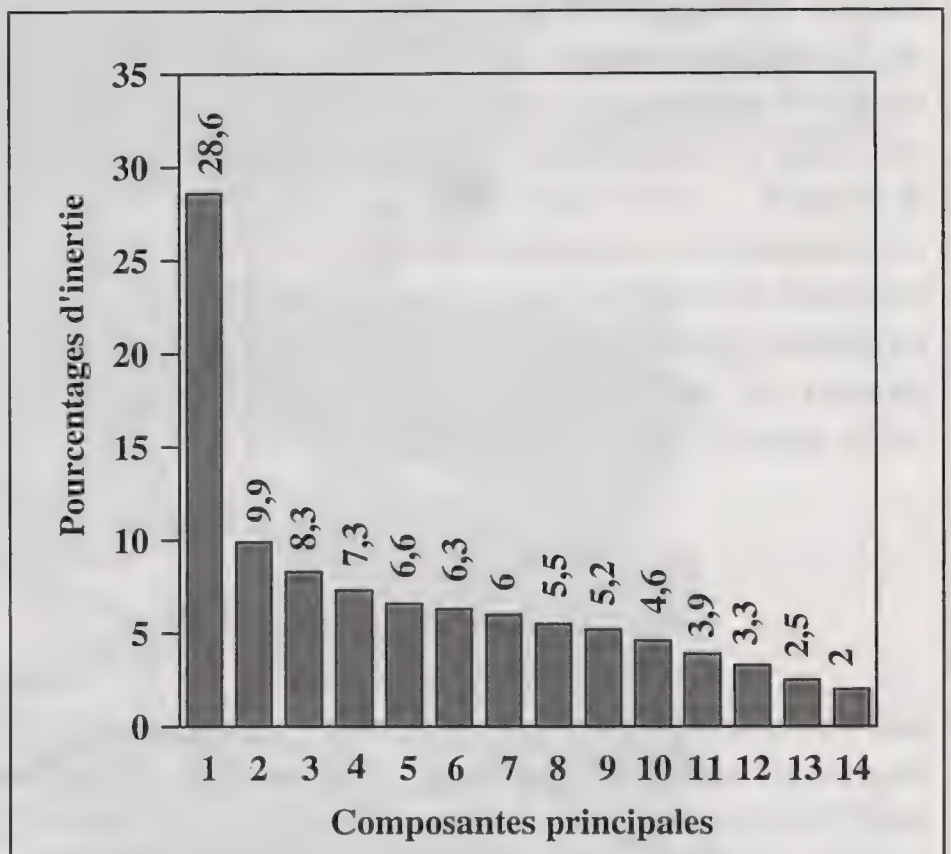


FIG. 3.– Pourcentage d'inertie portée par chacune des composantes principales de l'ACP.

Percentage of inertia for each of the PCA principal components.

TABLEAU I.– Moyenne, écart-type, minimum, maximum et coefficient de variation des 14 variables biométriques (en micromètres).

Mean, standard deviation, minimum, maximum values and coefficient of variation of the 14 biometrical variables (in micrometers).

n = 449	HV1	HV2	HV3	HVG	BV1	BV2	HD1	HD2	HD3	HDG	P1	P2	P3	VG
Moyenne	35,7	5,7	24,1	8,3	50	18,6	28,5	4,7	19,3	11,5	92,3	25,6	15,9	60,2
Ecart type	2,7	0,9	2,4	1,7	4,3	3	2,5	0,9	2,1	1,7	9,3	3,4	1,9	11,2
Minimum	29,6	3,1	12,1	4,5	37,8	11,6	22,6	2	12,4	5,5	70,1	14,2	9,3	31,6
Maximum	49	9,4	30,3	14,1	62,9	38,8	36,9	9,5	27,7	17,6	133,8	43,6	22,7	98,7
Coefficient de variation	7,5	16,3	9,9	20,6	8,6	16,2	8,6	20	10,8	14,6	10,1	13,2	12,2	18,5

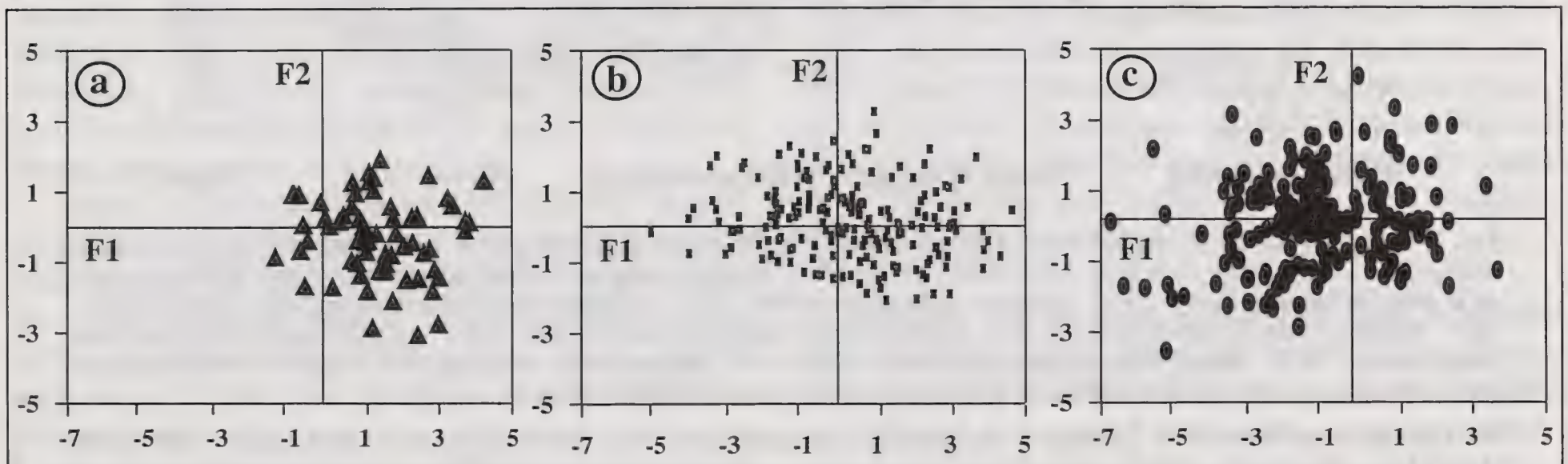


FIG. 4.– Représentation des parasites dans le plan F1/F2 de l'ACP. 4a : Romieu ; 4b : Embouchure ; 4c : Tour du Valat.

Scatter diagrams of the parasites in the PCA F1/F2 plane. 4a : Romieu ; 4b : Embouchure ; 4c : Tour du Valat.

Source : MNHN

Aucun sous-groupe ne s'isole de l'ensemble. b) les barycentres des 3 nuages subissent une translation sur F1. Le barycentre du nuage de points de "Romieu" (FIG. 4a) a une abscisse positive, celui du nuage de points relatif à la station "Embouchure" (FIG. 4b) a une abscisse proche de 0, et celui du "Fumemorte" (FIG. 4c) a une abscisse négative ; c) les nuages de points ont une répartition sensiblement identique par rapport à F2.

Le cercle des corrélations des variables biométriques ainsi que le cercle des contributions équilibrées des descripteurs (cercle intérieur) sont représentés dans la figure 5. L'angle entre les axes-descripteurs (vecteurs représentant les descripteurs dans un plan formé par deux composantes principales) illustre la corrélation entre ces descripteurs. Cet angle est d'autant plus faible que la corrélation est grande.

L'axe F1

L'axe F1 (28,6 % de la variance globale) (Fig. 5) est expliqué principalement par les longueurs totales des crochets dorsaux (contribution de HD1 : 0,63), des crochets ventraux (contribution de HV1 : 0,56), de la barre ventrale (contribution de BV1 : 0,57) et enfin par la longueur des lames (contributions de HD3 et HV3 respectivement égales à 0,51 et 0,43). Ces différentes variables sont des descripteurs du hapteur. La longueur des vecteurs correspondant à ces descripteurs dépasse le cercle de leur contribution équilibrée. Les autres variables biométriques liées aux crochets ou à la barre ventrale ont des contributions moindres sur F1. Les variables liées à l'appareil génital n'ont pratiquement aucune contribution sur cet axe (valeurs variant de 0,1 à 0,2).

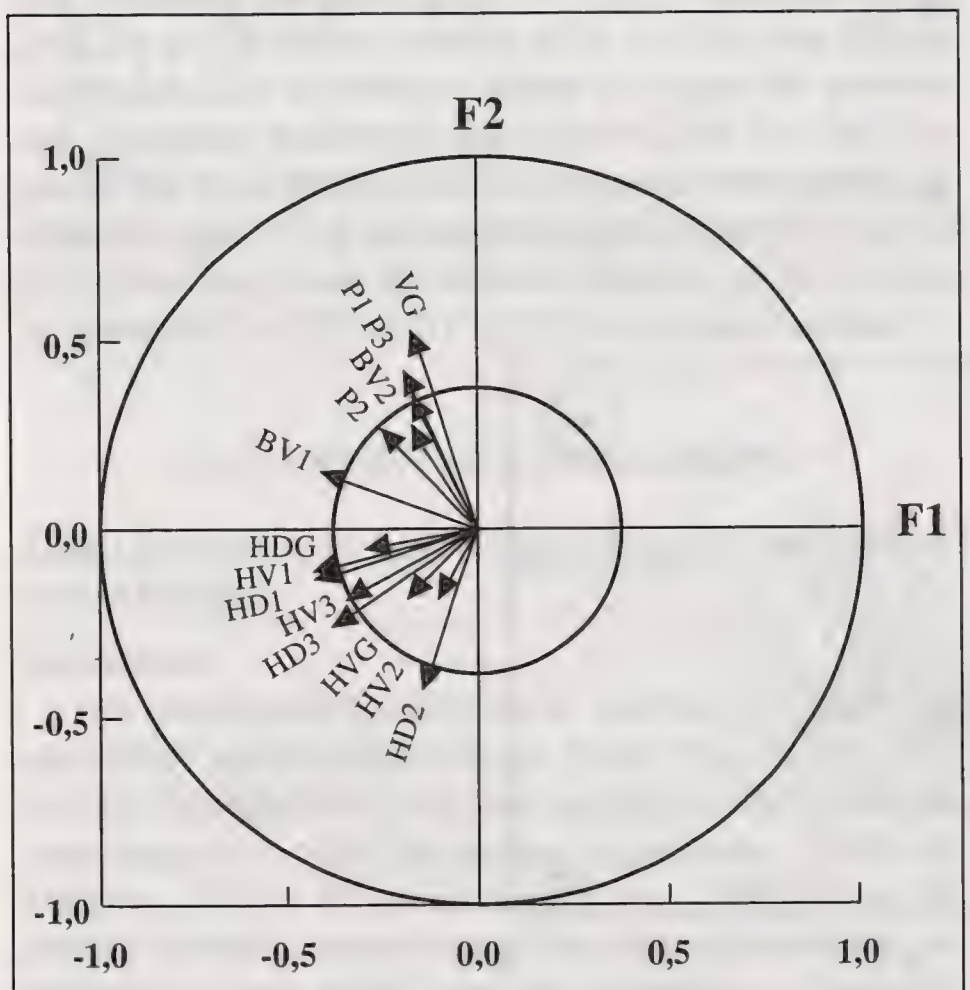


FIG. 5.– Cercle des corrélations des variables biométriques dans le plan F1/F2 de l'ACP.

The correlation circle for the biometrical variables in the PCA F1/F2 plane.

Les figures 6a et 6b représentent respectivement les variations de HD1 et BV1 en fonction de leurs coordonnées factorielles sur F1. Ces deux variables décroissent sur F1, tout comme les variables qui leur sont corrélées positivement (*cf.* TAB. II) : HD3, HDG, HV1, HV3. Par conséquent, deux types de parasites tendent à s'opposer graduellement sur cet axe : ceux d'abscisses négatives dont les pièces haptoriales sont grandes et ceux d'abscisses positives dont les pièces sont plus petites. Le déplacement sur F1 des barycentres des nuages de points noté sur les figures 4a, 4b et 4c indique que les parasites de "Romieu" ont des pièces haptoriales majoritairement plus petites que celles des monogènes du lieu-dit "Embouchure" et *a fortiori* du "Fumemorte".

L'axe F2

Le deuxième facteur F2 (9,9 % de la variance) (FIG. 5) est expliqué par les descripteurs de l'appareil génital (P1, P2, P3, VG), par des descripteurs de la barre ventrale (BV1) et du crochet dorsal (HD2). La variable "longueur de la partie sclérifiée du vagin" (VG) a la plus forte contribution (0,37). Les variations de VG, en fonction des coordonnées factorielles sur F2 de chaque individu-parasite, sont représentées sur la figure 6c. Des individus à petit vagin (valeurs négatives) s'opposent à des individus à grand vagin (valeurs positives).

Signalons que le troisième facteur F3 (8,3 % de la variance), analysé mais non représenté ici, caractérise des oppositions sur plusieurs traits des pièces ventrales : des individus à faible profondeur de lame HV2, à BV2 petite et à grande garde HVG s'opposent à des individus aux caractéristiques inverses. Cet axe et les suivants traduisent en fait des phénomènes marginaux propres à quelques individus ; leur intérêt est très limité.

NATURE DES CORRÉLATIONS ENTRE VARIABLES BIOMÉTRIQUES

Le tableau des corrélations entre les variables (tableau II) met en évidence des corrélations essentiellement positives ou nulles.

Le hapteur

Crochets ventraux.– leur longueur totale HV1 est corrélée positivement (0,51) à la longueur de leur lame HV3. La corrélation entre HV1 et la longueur de la garde HVG est plus faible (0,24) ; elle est presque nulle (0,05) entre HV1 et la profondeur de la lame HV2. HV2 et HV3 sont modérément corrélés (0,29).

Source : MNHN

HV2	0,05												
HV3	0,51	0,29											
HVG	0,24	0,01	0,17										
BV1	0,50	0,16	0,39	0,20									
BV2	0,12	0,10	0,14	0,00	0,35								
HD1	0,57	0,12	0,43	0,25	0,56	0,19							
HD2	0,21	0,12	0,16	0,11	0,11	-0,01	0,14						
HD3	0,46	0,08	0,47	0,20	0,46	0,22	0,62	0,30					
HDG	0,44	0,09	0,29	0,24	0,37	0,11	0,46	0,21	0,30				
P1	0,19	0,04	0,18	0,00	0,25	0,07	0,16	0,06	0,08	0,15			
P2	0,23	0,03	0,16	0,09	0,28	0,14	0,30	0,09	0,19	0,25	0,21		
P3	0,18	0,01	0,16	0,16	0,25	0,06	0,22	0,01	0,19	0,18	0,20	0,26	
VG	0,13	0,00	0,11	0,05	0,29	0,20	0,08	-0,03	0,05	0,13	0,16	0,14	0,20
	HV1	**HV2**	**HV3**	**HVG**	**BV1**	**BV2**	**HD1**	**HD2**	**HD3**	**HDG**	**P1**	**P2**	**P3**

TABLEAU II.– Valeurs des corrélations entre chaque couple de variables.

Correlation values between each couple of variables.

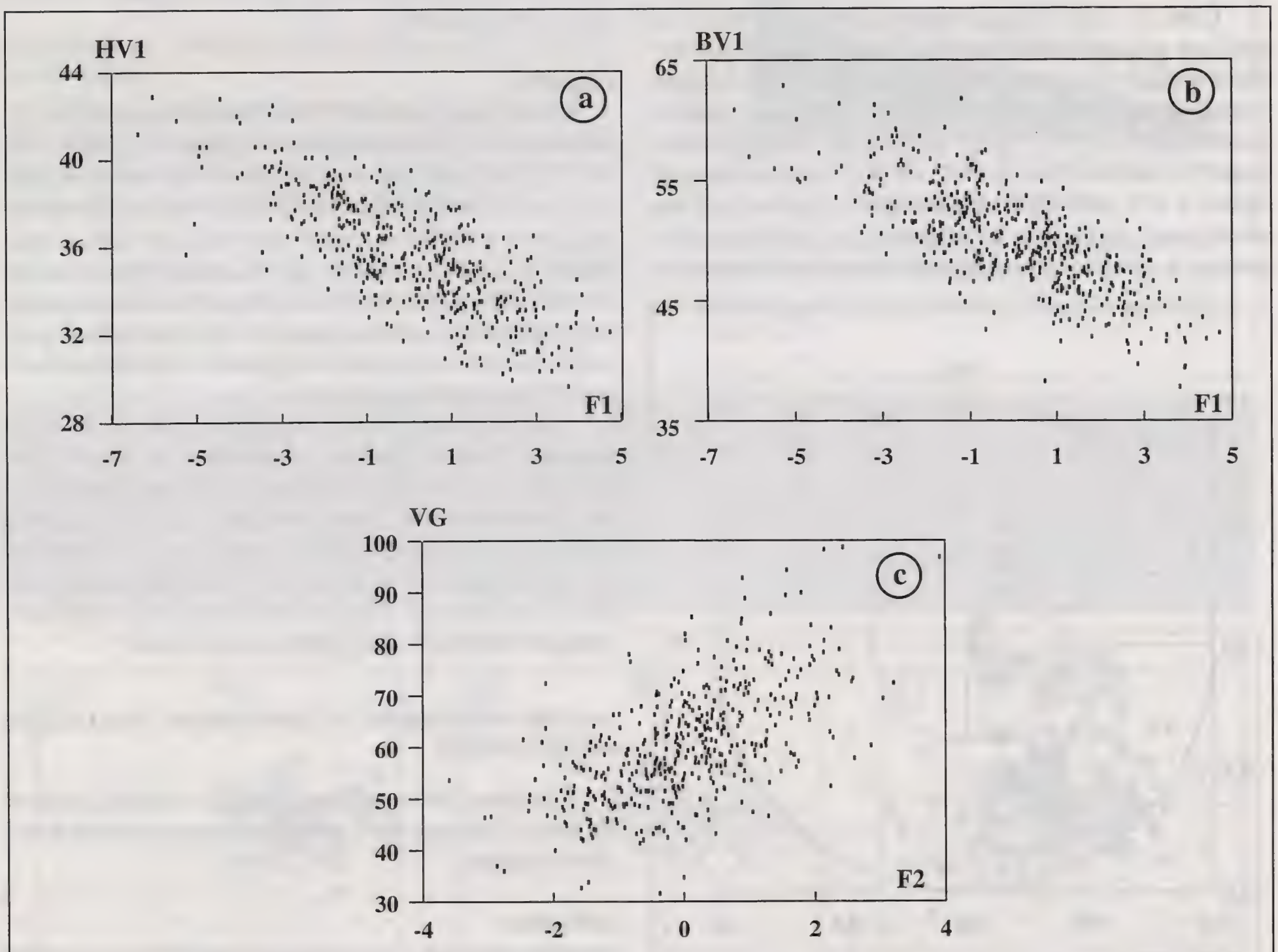


FIG. 6.– Variations de trois variables biométriques pour les 449 spécimens de parasites en fonction de leurs coordonnées factorielles sur un des deux premiers axes de l'ACP. 6a : HV1 sur F1 ; 6b : BV1 sur F1 ; 6c : VG sur F2.

Variations of three biometrical variables for the 449 parasite specimens studied on one of the two first PCA axies. 6a : HV1 on F1 ; 6b : BV1 on F1 ; 6c : VG on F2.

Source : MNHN

Crochets dorsaux.– Leur longueur totale HD1 est corrélée positivement (0,62) à la longueur de la lame HD3 et à la longueur de la garde HDG (0,46). La corrélation entre HD1 et la profondeur de sa lame HD2 est assez faible (0,14). Celle entre HD3 et sa profondeur HD2 est plus élevée (0,30).

Crochets ventraux / dorsaux.– La longueur totale des crochets ventraux HV1 est corrélée positivement (0,57) à celle des crochets dorsaux HD1, et par voie de conséquence à HD3 (0,46) et à HDG (0,44). Du fait des mêmes dépendances, HV3 est tout naturellement corrélée à HD1 (0,43) et à HD3 (0,47).

Barre ventrale.– Leur longueur BV1 est corrélée positivement à celle des crochets ventraux HV1 (0,50) et des crochets dorsaux HD1 (0,56). Compte tenu des corrélations précitées, BV1 est modérément corrélée à HV3 (0,39), à HD3 (0,46) et HDG (0,37). La corrélation entre BV1 et la longueur entre les expansions latérales de la barre ventrale BV2 est du même ordre de grandeur (0,35).

L'appareil génital

Les différentes longueurs du pénis P1, P2 et P3 présentent entre elles des corrélations faiblement positives (0,20 pour P1/P3 ; 0,21 pour P1/P2 ; 0,26 pour P2/P3). Les corrélations entre ces trois variables et les longueurs totales des crochets dorsaux HD1 (< 0,30), ventraux HV1 (< 0,23), et des barres ventrales BV1 (< 0,28) sont faibles. La longueur de la partie sclérifiée du vagin VG présente une corrélation faiblement positive (< 0,20) avec les longueurs P1, P2 et P3 du pénis. La longueur de la partie sclérifiée du vagin VG a une corrélation presque nulle (< 0,13) avec toute les pièces du hapteur exceptée avec les deux longueurs BV1 (0,29) et BV2 (0,20) de la barre ventrale.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

AMPLITUDE DE LA VARIABILITÉ MORPHO-ANATOMIQUE

Le hapteur

La population étudiée de *L. imitans* présente une variabilité morpho-anatomique assez importante, dans tous les cas supérieure à ce que suggère la description de cette espèce et celle des autres *Ligophorus* (EUZET & SURIANO, 1977 ; EUZET & SANFILIPPO, 1983). Pour les mêmes variables mesurées sur les pièces haptoriales, un échantillon d'une taille vingt fois supérieure (respectivement 449 dans cette étude et 20 individus *in* EUZET & SURIANO, 1977) augmente d'un facteur supérieur à 3 l'intervalle entre valeurs minimales et maximales. Dans les deux études, les crochets dorsaux sont plus petits que les crochets ventraux, mais leur variabilité est comparable.

Les écarts entre valeurs minimales et maximales des différentes variables mesurées sur *L. imitans* sont également deux à trois fois supérieurs à ceux observés par JANOVY *et al.* (1989), puis FERDIG *et al.* (1991, 1993) chez différentes espèces de *Salsuginus* (Ancyrocephalidae), toutes parasites du genre *Fundulus* (Cyprinodontoïdei). Une nouvelle fois, le nombre d'individus-parasites considérés dans chaque étude ne semble pas étranger aux variations enregistrées.

Des études menées sur des *Dactylogyrus* (Dactylogyridea) par GUSSEV (1967), puis BELOVA (1988) donnent des résultats concernant la variabilité voisins de ceux présentés ici. Certaines dimensions telles que les longueurs de lames, de manches, de gardes ou les longueurs totales sont assez variables. La forme des crochets de ces Monogènes est voisine de celle des crochets des *Ligophorus*. Chez *Diplectanum aequans* et *D. laubieri* (Dactylogyridea, Diplectanidae), SILAN & MAILLARD (1989) décrivent une variabilité importante de la longueur totale des crochets ventraux et dorsaux. Cette variabilité intraspécifique est du même ordre de grandeur que celle notée chez *Ligophorus*.

La variabilité morphométrique des pièces sclérifiées du hapteur des *Gyrodactylus* (Gyrodactylidae) a aussi fait l'objet de quelques études (ERGENS, 1965, 1974, 1981, 1992 ; OGAWA, 1985 ; MO, 1991a, b et c). Chacun de ces auteurs a décrit un spectre de variations souvent dépendant du nombre de parasites mesurés. La variabilité décrite reste néanmoins inférieure à celle que nous observons.

L'appareil génital

Quelles que soient les pièces génitales considérées, aucune sous-population ne se démarque. Pénis et vagins montrent une assez grande variabilité, mais au sein d'un continuum. Une variabilité importante de la taille du pénis et du même ordre de grandeur que celle que nous observons a été décrite chez deux espèces de *Dactylogyrus* par GUSSEV (1967) et BELOVA (1988). Chez *Diplectanum*, SILAN & MAILLARD (1989) décrivent également une forte variabilité de la taille du pénis, celle-ci variant du simple au double.

NATURE DES CORRÉLATIONS

Le hapteur

Plusieurs des variables biométriques du hapteur (HV1, HV3, HD1, HD3, HDG, BV1) sont corrélées positivement. Les longueurs totales des crochets ventraux (HV1), dorsaux (HD1) et de la barre ventrale (BV1) ont les plus fortes corrélations positives. Les croissances respectives et simultanées de ces trois variables sont donc fonctionnellement dépendantes. Cet élément est important si l'on s'interroge sur le fonctionnement du hapteur : il semble que l'importance relative de ces trois pièces lors de la fixation reste la même que le hapteur soit grand ou petit.

Source : MNHN

En revanche, toutes les variables biométriques d'un même crochet ne sont pas systématiquement corrélées ; il n'existe donc pas de relation allométrique simple. Que ce soit pour les crochets ventraux ou dorsaux, leur longueur totale (HV1 ou HD1) est quasi indépendante de la profondeur de la lame (HV2 ou HD2). Sur le plan fonctionnel, ceci signifie que la longueur totale des crochets peut augmenter sans que la courbure de la lame, et donc sa capacité à s'implanter profondément dans le tissu branchial, n'augmente en conséquence. Pour les deux types de crochets, longueur de lame et profondeur sont faiblement dépendantes (corrélations faiblement positives mais non nulles).

Ces différents éléments sont importants pour expliquer le mode de fonctionnement des crochets, et ses conséquences possibles sur la répartition branchiale de ces espèces (SILAN *et al.*, 1987).

Aux variations de taille près, les crochets de cette espèce conservent une forme constante. Le même phénomène a été observé chez l'Ancyrocephalidae *Salsuginus yutanensis* (FERDIG *et al.*, 1993), et chez certains *Dactylogyrus* (GUSSEV, 1967 ; BELOVA, 1988). Ceci n'est pas le cas chez tous les Monogènes et en particulier chez les *Gyrodactylus* (ERGENS, 1965, 1975, 1981, 1992 ; MO 1991a, b et c).

L'appareil génital

Les corrélations entre couples de variables décrivant l'appareil génital sont faiblement positives ou nulles. Le résultat le plus intéressant est la quasi-indépendance de taille entre organe mâle (pénis et pièces accessoires) et femelle (vagin) chez un même individu. Ce point peut être important si l'on s'intéresse à la nature de la reproduction. En effet, ces organismes présentent un hermaphrodisme protandrique, et le principe d'une fécondation croisée obligatoire n'a été démontrée que pour certains Diplectanidae (SILAN *et al.*, 1983).

Si la taille du pénis varie chez cette espèce de *Ligophorus*, leur forme, élément essentiel pour leur détermination spécifique, reste constante.

RELATIONS ENTRE L'APPAREIL GÉNITAL ET L'OPISTHOHAPTEUR

Les corrélations entre les différentes pièces sclérifiées de l'appareil génital et celles du hapteur sont faiblement positives ou nulles. Ces deux groupes de variables sont quasi-indépendants. Ceci traduit le fait suivant : les parasites ayant de petites pièces haptoriales, comme ceux en ayant de grandes, présentent un appareil génital pouvant atteindre toutes les tailles rencontrées dans la population. Le faible gradient de taille qui peut être noté pour le vagin n'est donc pas associé à celui, plus net, du système de fixation. Cette indépendance illustre l'absence de morpho-type grand ou petit pour l'ensemble des variables considérées ici. Il est alors intéressant de s'interroger sur le déterminisme des gradients existants, ou les raisons possibles de l'absence de gradient pour d'autres variables.

En conclusion, nous pouvons dire que la détermination des espèces de *Ligophorus* sur la base de la forme et de la taille de leur hapteur et de leur appareil génital n'est pas à remettre en cause. Les différentes parties de ces organismes ne répondent cependant pas à une croissance allométrique simple et généralisée. Ces faits devront être un peu plus souvent pris en compte lors de diagnoses portant sur des Monogènes.

Au-delà des problèmes strictement taxinomiques, la plasticité morphologique identifiée ici montre à quel point toute approche fonctionnelle de la structure de ces peuplements de Monogènes, et par conséquent de leur biodiversité, ne peut pas être envisagée indépendamment d'une approche "populationnelle". Dans le cadre plus général de la biologie des populations fragmentées, un des problèmes central posé par cette étude est d'identifier l'éventuelle composante écologique du déterminisme de cette variabilité phénotypique.

REMERCIEMENTS

Nous remercions messieurs BENEZET, LOPEZ, CRIVELLI et le personnel technique de la Station Biologique de la Tour du Valat pour leur aide lors des pêches.

BIBLIOGRAPHIE

ANONYME, 1992.– *Optilab version 2.1, Logiciel de traitement et d'analyse d'images sur le Macintosh™ d'Apple computer.* Graftek France ed., 162 p.

BELOVA, S.V., 1988.– Variability of chitinoid structures of *Dactylogyrus hypophtalmichthys* (Monogenoidea) in relation to host size and season. *In* : SKARLATO, O.A. (ed), *Investigations of monogeneans in the USSR*. Balkema, Rotterdam : 38-43.

ERGENS, R., 1965a.– Die Morphogenese der chitinoiden Teile des Haptors bei *Gyrodactylus decorus* Malmberg, 1956 (Monogenoidea) und ihre morphologisch-metrische Variabilität. *Z. ParasitKde*, 25 : 359-370.

ERGENS, R., 1965b.– Die Morphogenese der chitinoiden Teile des Haptors bei *Gyrodactylus tincae* (Malmberg, 1956) Malmberg, 1964 (Monogenoidea) und ihre morphologisch-metrische Variabilität. *Z. ParasitKde*, 26 : 173-184.

ERGENS, R., 1974.– *Gyrodactylus medius* Kathariner, 1894 (Monogenoidea : Gyrodactylidae), its variability, occurence and distribution. *Parasit.*, 8 : 103-108.

ERGENS, R., 1975.– Contribution to the knowledge of the species *Gyrodactylus aphyae* Malmberg, 1957 and *G. pannonicus* Molnar, 1968 (Monogenoidea : Gyrodactylidae). *Vest. Cesk. Spol. Zool.*, 39 : 1-8.

ERGENS, R., 1976.– Variability of hard parts of opisthaptor of two species of *Gyrodactylus* Nordmann, 1832 (Monogenoidea) from *Phoxinus phoxinus*. *Folia parasit.*, 23 : 111-126.

Source : MNHN

ERGENS, R., 1981.– Variability of hard parts of opisthaptor of two species of *Gyrodactylus truttae* Gläser, 1974 (Gyrodactylidae : Monogenea). *Folia parasit.*, 28 : 37-42.

ERGENS, R., 1992.– *Gyrodactylus bohemicus* sp.n. (Monogenea : Gyrodactylidae) from *Onchorynchus mykiss* (Walbaum) and *Salvelinus fontinalis* (Mitchill) (Clupeiformes : Salmonidae) in Czechoslovakia. *Folia parasit.*, 39 : 391-394.

ERGENS, R. & GELNAR, M., 1985.– Experimental verification of the effect of temperature on the size of hard parts of *Gyrodactylus katharineri*, Malmberg, 1964 (Monogenea). *Folia parasit.*, 32 : 377-380.

EUZET, L. & COMBES, C., 1980.– Les problèmes de l'espèce chez les animaux parasites. *In* : BOCQUET, C., GENERMONT, J. & LAMOTTE, M. (eds), *Les problèmes de l'espèce dans le règne animal.* Mémoire de la Société Zoologique de France, Paris, Tome III, n° 40 : 239-245.

EUZET, L. & SANFILIPPO, D., 1983.– *Ligophorus parvicirrus* n.sp. (Monogenea, Ancyrocephalidae) parasite de *Liza ramada* (Risso, 1826) (Teleostei, Mugilidae). *Ann. Parasit. hum. comp.*, 58 : 325-335.

EUZET, L. & SURIANO, D.M., 1977.– *Ligophorus* n.g. (Monogenea, Ancyrocephalidae) parasite des Mugilidae (Téléostéens) en Méditerranée. *Bull. Mus. Hist. Nat., 3ème série, 472, Zool.*, 329 : 799-821.

FERDIG, M.T., McDOWELL, M. A. & JANOVY, J., 1991.– *Salsuginus yutanensis* n.sp. (Monogenea : Ancyrocephalidae) from *Fundulus sciadicus* in clear creek of eastern Nebraska. *J. Parasit.*, 77 : 58-61.

FERDIG, M.T., McDOWELL, M. A., JANOVY, J. & CLOPTON, R.E., 1993.– Patterns of morphological variation of *Salsuginus yutanensis* (Monogenea : Ancyrocephalidae) over space and time. *J. Parasit.*, 79 : 744-750.

GLASER, H.J., 1965.– Zur kenntis der gattung *Dactylogyrus* Diesing, 1850 (Monogeoidea). *Z. ParasitKde*, 25 : 459-484.

GUSSEV, A.V., 1967.– The morphological criterion and characters of freshwater monogenetic Trematodes in modern taxonomy. *Parasitologica,* 1 : 55-66.

JANOVY, J., RUHNKE, T.R. & WHEELER, T.A., 1989.– *Salsuginus thalkeni* n.sp. (Monogenea : Ancyrocephalidae) from *Fundulus zebrinus* in the south platte river of Nebraska. *J. Parasit.*, 75 : 344-347.

KULEMINA, I.V., 1988.– Size variability of the adhesive elements in some species of *Gyrodactylus*. *In* : SKARLATO, O.A., (eds), *Investigations of monogeneans in the USSR*. Balkema, Rotterdam : 34-37.

LEBRETON, J.D., ROUX, M., BANCO, G. & BACOU, A.M., 1990.– *BIOMECO (biométrie écologie) version 3.9 software of statistical Ecology for P.C.* Avenix, CNRS, 46 p.

MALMBERG, G., 1987.– Increased infraspecific divergence in *Gyrodactylus salaris* resulting from genetic schift in fish farm population. *Abo information Proceedings of the 13th Symposium on the Scandinavian Society for parasitology.* Helsinski, Finland, June 12-14 1987, 19 : 33.

MAYR, E., 1974.– *Populations, espèces et évolution*. Hermann, Paris : 496p.

MAYR, E., 1991.– *Darwin et la pensée moderne de l'évolution.* Odile Jacob, Paris : 248 p.

MO, T.A., 1991a.– Seasonal variations of opisthaptoral hard parts of *Gyrodactylus salaris* Malmberg, 1957 (Monogenea : Gyrodactylidae) on parr of Atlantic salmon *Salmo salar* L. in the River Batnfjordselva, Norway. *Syst. Parasit.*, 19 : 231-240.

MO, T.A., 1991b.– Seasonal variations of opisthaptoral hard parts of *Gyrodactylus salaris* Malmberg, 1957 (Monogenea : Gyrodactylidae) on rainbow trout *Onchorhynchus mykiss* (WALBAUM, 1972) in a fish farm, with comments on the spreading of the parasite in south-eastern Norway. *Syst. Parasit.*, 20 : 1-9.

MO, T.A., 1991c.– Variations of opisthaptoral hard parts of *Gyrodactylus salaris* Malmberg, 1957 (Monogenea : Gyrodactylidae) on parr of Atlantic salmon *Salmo salar* L. in laboratory experiments. *Syst. Parasit.*, 20 : 11-19.

OGAWA, K., 1985.– A Monogenean Parasite *Gyrodactylus masu* sp.n. (Monogenea : Gyrodactylidae) of Salmonid Fish in Japan. *Bul. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 52 : 947-950.

REVERSAT, J., MAILLARD, C. & SILAN, P., 1991.– Polymorphisme phénotypique et enzymatique : intérêt et limites dans la description d'espèces d'*Helicotrema* (Trematoda : Opecoelidae), mésoparasites de téléostéens marins. *Syst. Parasit.*, 19 : 147-158.

ROHDE, K., 1987.– Different populations of *Scomber australicus* in New Zealand and south-eastern Australia, demonstrated by a simple method using monogenean sclerites. *J. Fish Biol.*, 30 : 651-657.

ROHDE, K. & WATSON, N., 1985.– Morphology, microhabitats and geographical variation of *Khunia* ssp. (Monogenea : Polyopisthocotylea). *Int. J. Parasit.*, 15 : 569-586.

SILAN, P., EUZET, L. & MAILLARD, C., 1983.– La reproduction chez *Diplectanum aequans* (Monogenea, Monopisthocotylea). Nouvelles données sur l'anatomie du complexe génital et son fonctionnement. *Bull. Soc. fr. Parasit.*, 1 : 31-36.

SILAN, P., EUZET, L., MAILLARD, C. & CABRAL, P., 1987.– Le biotope des ectoparasites branchiaux de Poissons : Facteurs de variations dans le modèle Bar-Monogènes. *Bull. Ecol.*, 18 : 383-391.

SILAN, P. & MAILLARD, C., 1989.– Biologie comparée du développement et discrimination des Diplectanidae ectoparasites du Bar (Teleostei). *Ann. Sci. Nat., Zool., Paris, 13ème série,* 10 : 31-45.

ENGLISH ABRIDGED VERSION

The problems raised by the definition of parasite species and their speciation on the basis of phenotypic polymorphism have been underlined by EUZET & COMBES in 1980. In the case of the monogeneans, studies of phenotypic variability are rare and remain essentially descriptive (GLASER, 1965 ; ERGENS, 1965a and b ; GUSSEV, 1967 ; KULEMINA, 1988). Some authors have related this variability to environmental factors (ERGENS, 1974, 1975, 1976, 1981 ; ERGENS & GELNAR, 1985 ; OGAWA, 1985 ; MO, 1991a, b and c).The phenotypic variability observed amongst parasites poses a number of important questions. One of these controversial questions is the following : is the morphology of the opisthaptor more adaptative than that of the genitalia on a short time scale ? The lack of clear answer is notably due to the lack of studies at the population level.

Different congeneric species of the genus *Ligophorus* (Monogena, Ancyrocephalidae) are ectoparasites of mullets (Pisces, Teleostei). These gill parasites have been described by EUZET & SURIANO (1977) and EUZET & SANFILIPO (1983). They have a strict specificity (oioxenous). Nevertheless, several species of *Ligophorus* can coexist on the same host species. Their hosts migrate between the sea and lagoons and these parasite guilds are subject to fluctuating environmental constraints. The nature of the morphological plasticity of *Ligophorus imitans* has been analysed ; this study concerns an isolated population (Rhône delta, Camargue, France) of *Ligophorus imitans*, ectoparasite of *Liza ramada* (see FIG. 1).

Source : MNHN

A biometric analysis using image processing techniques has been developed. Fourteen biometric variables concerning the sclerotized parts of this platyhelminth have been selected. The variables concern the opisthaptor (blade depth, guard length and total length of ventral and dorsal anchors, length of the ventral bar and length between the protuberances) and the genitalia (accessory part, lateral expension lengths and total length of the penis, total length of the vagina hard part) (see FIG. 2).

A gradient of phenotypic variability has been observed using a principal component analysis (P.C.A.) (see FIG. 3 and 4). F1 axis is mainly explained by some opisthaptor variables (blade length and total length of ventral and dorsal anchors, ventral bar total length) (see FIG 5). The graph of some variables in terms of their factorial coordinates on F1 shows a regular and continue decrease of their values (see FIG. 6). There is a gradual opposition between big anchored and small anchored parasites. The observed phenotypic variability is higher than that described by EUZET & SURIANO (1977) and EUZET & SANFILIPPO (1983) for the other *Ligophorus* species. The ventral and dorsal anchor variabilities are comparable. The ranges between the maximum and minimum values of these variables are always higher than those described for *Salsuginus* (Ancyrocephalidae) (JANOVY *et al.*, 1989 ; FERDIG *et al.*, 1991, 1993) or for the *Gyrodactylus* (Gyrodactylidae) (ERGENS, 1965a and b, 1974, 1981, 1992 ; OGAWA, 1985 ; MO, 1991a, b and c). The described variability is similar to that observed for *Dactylogyrus* (Dactylogyridea) (GUSSEV, 1967 ; BELOVA, 1988) or for *Diplectanum* (Diplectanidae) (SILAN & MAILLARD, 1989). F2 axis is explained by the length of the vagina hard part (see FIG. 5). Parasites with small vaginas are opposed to parasites with long vaginas. Penis and vagina are quite variable for the size. This variability is similar to that described for *Dactylogyrus* (GUSSEV, 1967 ; BELOVA, 1988) and for *Diplectanum* (SILAN & MAILLARD, 1989).

The study of the correlations between the different variables shows that they are all positive or close to zero (see tab. II). In the case of the attachement system, some lengths are positively correlated. The ventral and dorsal anchors lengths and the ventral bar length grow simultaneously. In a same anchor, all the variables are not systematically positively correlated. The total length of an anchor can increase without a concurrent increase in its depth. If the sizes vary, the shape of the different parts remain the same. In the case of the genital system, the correlations are weakly positive. There is no constant and linear relation between the size of the male (penis) and the female (vagina) genital system within a parasite.

The two groups of variables, opisthaptor and genitalia, are independant. The big or small anchored parasites present genitalia of different size. This independance shows the lack of large or small morphotypes for all the studied variables.

Finally, any description of the *Ligophorus* species using shapes and sizes of haptor and genital organs can be considered as correct. However, the different parts of these organisms cannot be described by simple and generalised allometric growths. The next diagnosis of Monogenean have to considered these elements. Moreover, the observed morphological plasticity shows how any fonctional approach of these monogenean communities, and thus their biodiversity, cannot be studied without a populational approach. In the context of space-structured populations, an important question raised by this phenotypic variability is the following : could an ecological component of its determinism be detected ? These aspects have been analysed in the next article of this issue.

Source : MNHN

Ecologie, t. 26 (2) 1995 : 105-113

LIGOPHORUS IMITANS (MONOGENEA) ECTOPARASITE DE *LIZA RAMADA* (TELEOSTEI)

II. VARIABILITÉ MORPHOLOGIQUE ET CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES*

Hervé CALTRAN[1], Patrick SILAN[1] & Maurice ROUX[2]

[1]*URA CNRS 698 "Biologie des Populations d'Helminthes Parasites", Station Méditerranéenne de l'Environnement Littoral, Université Montpellier II, 1 quai de la Daurade, 34200 Sète.*

[2]*URA CNRS 1152, Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie, Faculté des Sciences St. Jérôme, Avenue Normandie-Niemen, 13397 Marseille Cedex 13.*

SUMMARY
(original scientific paper)

LIGOPHORUS IMITANS *(MONOGENEA) ECTOPARASITE OF* LIZA RAMADA *(TELEOSTEI) II. MORPHOLOGICAL VARIABILITY AND ENVIRONMENTAL CONSTRAINTS.*
Ligophorus imitans *is a gill ectoparasite of* Liza ramada *(Teleostei). Each parasite infrapopulation is subject to environmental constraints depending on the host biology or ecology. The effect of eight environmental or structural variables on the morphological plasticity of this monogenean has been studied. The biometrical variables which are considered are the opisthaptor hard parts and the genital organs.*
The size of opisthaptor sclerotized parts increases with the host size and hence with the gill heterogeneity. The same relation can be observed between the host and the parasite size. However, the stage of sexual maturity of this latter, and therefore its age, are not concerned by this fact. The local parasite density and the local community structure have no detectable effect on the haptor morphometry. The variability of the genital organs is independant of the environmental variables considered. The ecological and evolutive implications of these results are discussed.

KEY WORDS : *Liza ramada* - Mugilidae - *Ligophorus imitans* - Monogenea - Population biology - Morphological plasticy - Environmental contraints.

RÉSUMÉ
(travail original)

Ligophorus imitans *est un ectoparasite branchial de* Liza ramada *(Teleostei). Chaque individu-hôte abrite une infrapopulation parasitaire qu'il soumet aux contraintes résultant de sa propre biologie ou écologie. L'influence de huit variables environnementales ou structurelles sur la plasticité morphologique des pièces sclérifiées de l'opisthohapteur et de l'appareil génital de ce monogène est étudiée.*
La taille des pièces sclérifiées du hapteur augmente avec la taille de l'hôte et donc l'hétérogénéité des branchies. Une relation de même nature existe entre taille de l'hôte et taille du parasite, sans que le stade de maturité sexuel et donc l'âge de ce dernier soit impliqué. La densité et la composition locales du peuplement parasitaire n'ont pas d'effet décelable sur la morphométrie du hapteur. La variabilité de l'appareil génital est indépendante des variables environnementales considérées.

MOTS CLÉS : *Liza ramada* - Mugilidae - *Ligophorus imitans* - Monogène - Biologie des populations - Plasticité morphologique - Contraintes environnementales.

* Manuscrit reçu le 6 mars 1995 ; version révisée et acceptée pour publication le 9 octobre 1995

Source : MNHN

INTRODUCTION

Ligophorus imitans (Monogenea, Ancyrocephalidae) est un ectoparasite branchial du muge ou mulet *Liza ramada* (Teleostei, Mugilidae). L'analyse biométrique des pièces sclérifiées du hapteur et de l'appareil génital de ce monogène a permis de mettre en évidence la nature et l'importance de la variabilité phénotypique dans une population naturelle (CALTRAN *et al.*, 1995).

Chaque individu-hôte abrite une infrapopulation parasitaire qu'il soumet aux contraintes résultant de sa propre biologie ou écologie : ainsi l'âge et la taille de l'hôte conditionnent la taille de ses branchies, et donc l'hétérogénéité du biotope branchial colonisé par ces plathelminthes (WOOTTEN, 1974 ; SILAN *et al.*, 1987). La nature de l'hydrodynamisme qui en résulte a une action déterminante sur la répartition branchiale de certains monogènes (SILAN, 1984). Il est par conséquent intéressant de s'interroger sur l'influence que peut avoir la position des parasites dans les branchies sur la variabilité morphologique de leurs pièces haptoriales.

Par ailleurs, certains muges de Camargue (Delta du Rhône, France), et donc leurs ectoparasites, passent de zones saumâtres à des zones dulçaquicoles et inversement selon la saison. L'action éventuelle de telles contraintes sur la plasticité morphologique est inconnue.

Chaque infrapopulation parasitaire présente en outre ses propres caractéristiques, sous l'influence directe des processus démographiques : stades de maturité et tailles représentés, densité de Monogènes et nature de l'infrapeuplement. L'influence de huit de ces variables environnementales ou structurelles sur la variabilité phénotypique est étudiée par une analyse multidimensionnelle. Les implications écologiques et évolutives des résultats présentés seront discutées.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Pour l'hôte comme pour le parasite, échantillons et modes d'échantillonnage ont été décrits en détail (CALTRAN *et al.*, 1995). Les variables supplémentaires sui-

TABLEAU I.– Nature, modalités et codification des variables environnementales.
Forms and codification of the environmental variables.

	NATURE DES VARIABLES	MODALITÉS	CODE
TEMPS	Saison d'échantillonnage	Hiver (Janvier, Février, Mars) Printemps (Avril, Mai, Juin) Eté (Juillet, Août, Septembre) Automne (Octobre, Novembre, Décembre)	H P E A
MILIEU EXTERIEUR	Nature du milieu aquatique	Dulçaquicole Saumâtre	M0 M1
MILIEU HÔTE	Longueur furcale de l'hôte	Classe [7 cm, 14 cm] Classe]14 cm, 21 cm] Classe]21 cm, 28 cm] Classe]28 cm, 32 cm]	L1 L2 L3 L4
PARASITE	Localisation des parasites dans les branchies	120 modalités possibles dont 49 réalisées	entier positif
	Effectif local des parasites	Un individu par station Deux individus par station Plus de deux individus par station	Ef1 Ef2 Ef3
	Catégories de tailles (mesure du périmètre)	Classe [745 µm, 1452 µm] Classe]1452 µm, 2160 µm] Classe]2160 µm, 2867 µm]	Per1 Per2 Per3
	Maturité sexuelle	Jeunes Adultes	Je Ad
	Nature de l'infrapeuplement	Absence d'autres espèces de parasites sur la même hémibranchie Présence d'autres espèces de parasites sur la même hémibranchie	C0 C1
Nombre total de variables considérées			69

Source : MNHN

vantes (variables-colonnes de la matrice de données) sont considérées (cf. TAB. I) :

L'environnement aquatique.– Une station d'échantillonnage est située en milieu dulçaquicole ("Fumemorte" = M0), les deux autres ("Romieu" ; "Embouchure") dans l'étang du Vaccarès (milieu lagunaire saumâtre = M1).

L'hôte.– Les muges ont été capturés lors des quatre saisons annuelles. La surface des branchies de ces poissons étant fonction de leur âge et donc de leur taille, la nature et la taille croissante du biotope branchial pour ces parasites seront appréhendées indirectement par la longueur furcale de l'hôte (cf. SILAN *et al.*, 1987).

Les parasites.– Les Monogènes étudiés sont les 449 *Ligophorus* présentés *in* CALTRAN *et al.* (1995). Cinq variables sont prises en compte :

• leur position dans les branchies : chaque individu-parasite est localisé dans une des 120 stations élémentaires définies sur les quatre arcs branchiaux unilatéraux d'un poisson (SILAN & LE POMMELET, 1995). Seules 49 d'entre elles sont utilisées par les *Ligophorus* de cette étude ; les 49 modalités ainsi constituées sont codées avec un entier positif tel que défini dans l'article précité.

• le stade de maturité : l'opposition est faite entre les stades "jeune" (Je) et "adulte" (Ad). Les critères de reconnaissance sont ceux définis par SILAN & MAILLARD (1989).

• le périmètre : il permet d'apprécier la catégorie de taille des Monogènes. Périmètre et stade associés informent de manière qualitative sur l'âge des adultes, lequel ne peut être connu avec précision. Trois classes sont définies entre le minimum et le maximum mesurés : Per1 (*Ligophorus* dont le périmètre est compris entre 745 µm et 1452 µm), Per2 (]1452 µm, 2160 µm]) et Per3 (]2160 µm, 2867 µm]).

• l'effectif : il est défini selon trois classes (Ef1, Ef2 et Ef3) selon le nombre de *L. imitans* dans une même station élémentaire.

• l'absence (C0) ou la présence (C1) d'espèces parasites différentes de *L. imitans*, donc de compétiteur potentiel, sur la même hémibranchie.

Rappelons que les quatorze variables biométriques définies *in* CALTRAN *et al.*, (1995) sont : HV1, HV2, HV3, HVG (crochets ventraux), BV1, BV2 (barres ventrales), HD1, HD2, HD3, HDG (crochets dorsaux), P1, P2, P3, VG (génitalia).

Analyses numériques.– Une analyse factorielle des correspondances (A.F.C.) a été réalisée avec le logiciel BIOMECO (LEBRETON *et al.*, 1990). Elle fait intervenir comme document-colonnes les 69 variables environnementales ou décrivant la nature de ces populations (TAB. I). Le document-ligne, comprenant 84 modalités (6 x 14), est constitué de la manière suivante : pour chacune des quatorze variables biométriques (HV1, HV2...), six classes de taille sont définies entre la plus petite et la plus grande mesure de la variable considérée, en portant un nombre sub-égal d'individus-parasites dans chacune de ces classes. Les bornes de ces dernières sont définies automatiquement selon une procédure du logiciel BIOMECO. Si l'on considère les valeurs des variables biométriques définissant ainsi ces bornes, elles ne sont naturellement pas équidistantes. L'objectif est de créer un tableau de contingence en conservant les variables biométriques sous forme de modalités, sans déséquilibrer les classes par les effectifs. Le tableau II, présentant le début de ce document-ligne, permet d'en appréhender sa structure.

TABLEAU II.– Nature du tableau de contingence utilisé dans l'analyse des correspondances.

Nature of the contingency table used for the CFA.

Variables	Classes	Bornes	Je	Ad	Per1	Per2	Per3
	HV11	"[29,6 ; 33,1]"	6	70	48	27	1
	HV12	"]33,1 ; 34,5]"	6	68	50	21	3
HV1	HV13	"]34,5 ; 35,5]"	7	65	47	21	4
	HV14	"]35,5 ; 36,6]"	4	71	44	25	6
	HV15	"]36,6 ; 38,1]"	4	69	32	36	5
	HV16	"]38,1 ; 49]"	13	69	66	46	13

RÉSULTATS

La figure 1 présente les dix premières valeurs propres. Par ailleurs, le pourcentage d'inertie des 2 premiers facteurs est de 37,3 %, et 64 % sont atteints au dixième facteur.

VARIABILITÉ MORPHOLOGIQUE ET GRADIENTS DE TAILLE

Les figures 2a, 2b et 2c représentent les 84 modalités biométriques dans le plan F1/F2. Pour des raisons de clarté, les variables sujettes à un fort gradient sur F1 sont présentées indépendamment dans la figure 2a. Celles intervenant peu ou pas dans l'explication de ce premier axe sont reportées dans les figure 2b et 2c ; les points correspondants sont donc superposés et proches de l'origine. Afin de faciliter l'interprétation graphique, les six modalités définies pour une variable biométrique donnée sont symbolisées de la même manière ; chaque symbole pré-

Source : MNHN

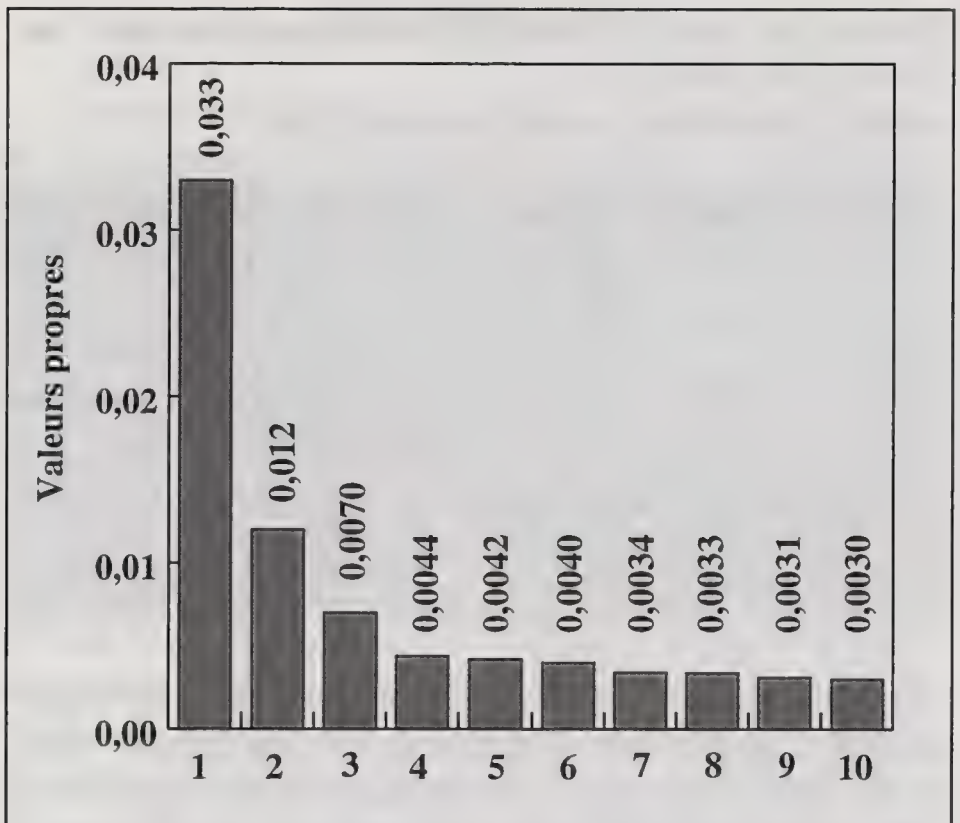


Fig. 1.– Valeur propre associée à chaque axe d'inertie.
Eigenvalue relative to each inertia axis.

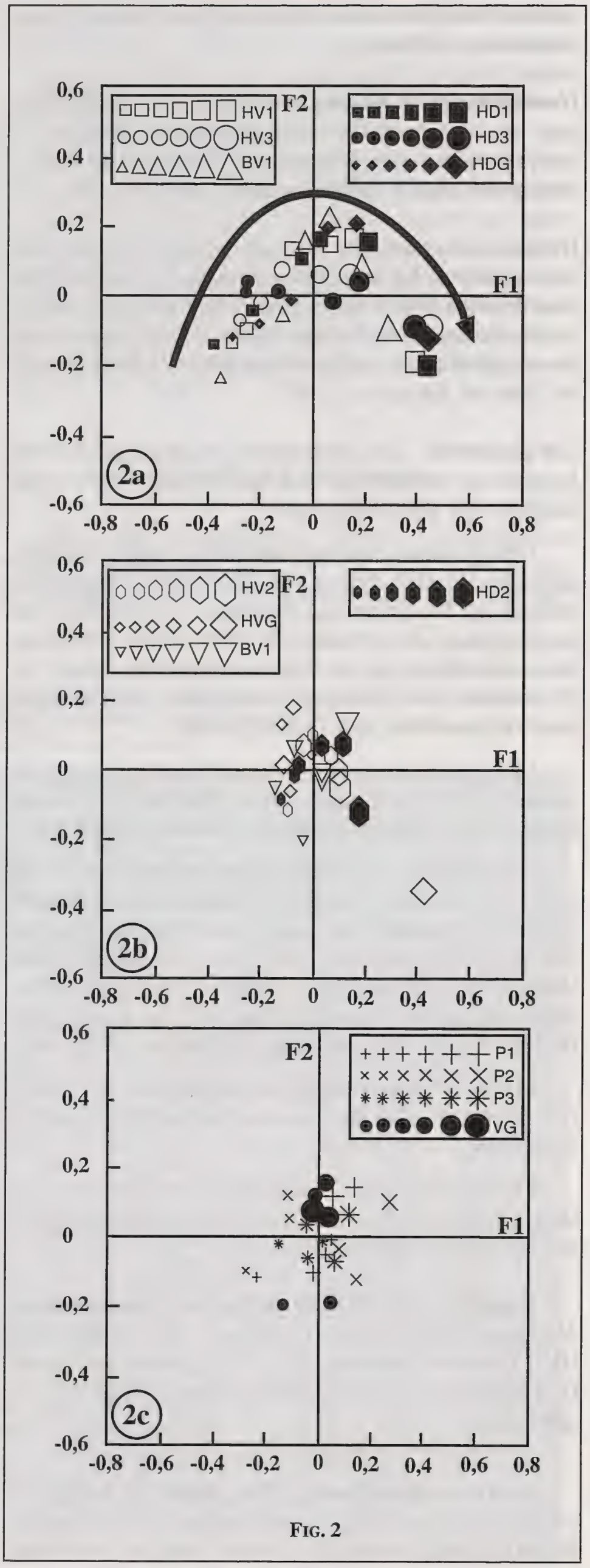


Fig. 2.– Variables biométriques dans le plan F1/F2 de l'AFC.
Biometrical variables in the C.F.A F1/F2 plane.

Fig. 2a.– HV1 : longueur totale du hamuli ventral ; HV3 : longueur de sa lame ; BV1 : longueur de la barre ventrale ; HD1 : longueur totale du hamuli dorsal ; HD3 : longueur de sa lame ; HDG : longueur de sa garde.
HV1 : total length of the ventral anchor ; HV3 : length of its blade ; BV1 : length of the ventral bar ; HD1 : total length of the dorsal anchor ; HD3 : length of its blade ; HDG : length of its guard.

Fig. 2b.– HV2 : profondeur de la lame du hamuli ventral ; HVG : longueur de sa garde ; BV2 : longueur entre les protubérances de la barre ventrale ; HD2 : profondeur de la lame du hamuli dorsal.
HV2 : blade depth of the ventral anchor ; HD2 : blade depth of the dorsal anchor ; HVG : length of its guard ; BV2 : length between the ventral bar protuberances.

Fig. 2c.– P1 : longueur totale du pénis ; P2 : longueur de sa pièce accessoire ; P3 : longueur de son expension latérale ; VG : longueur de la partie sclérifiée du vagin.
P1 : total length of the penis ; P2 : length of its accessory part ; P3 : length of its lateral expension ; VG : length of the vagina hard part.

sente en outre une taille croissante au fur et à mesure que les valeurs associées à ces classes, donc leurs bornes, augmentent.

Le net gradient observable dans la figure 2a concerne la longueur totale des crochets ventraux (HV1), celle de leur lame (HV3), la barre ventrale (BV1), la longueur totale des crochets dorsaux (HD1), celle de leur lame (HD3) et de leur garde (HDG). L'axe F1 oppose les classes de parasites possédant des crochets de petite taille aux parasites possédant des crochets de grande taille. La figure 2b montre que ce gradient sur F1 est quasi inexistant pour HD2 (profondeur de lame du crochet dorsal) ; il

Fig. 2

Source : MNHN

ne concerne pas HV2 (profondeur de lame du crochet ventral), HVG (longueur de garde du crochet ventral), et BV2 (expansions latérales de la barre ventrale). On remarque néanmoins que les classes de taille les plus grandes (symboles de taille maximale) ont des coordonnées positives sur F1, sans que leur contribution soit élevée. Les variables P1, P2, P3 et VG (FIG. 2c) relatives à l'appareil génital n'expliquent pas F1.

La figure 2a montre que l'axe F2 oppose petites et grandes valeurs des variables représentées à toutes les classes intermédiaires. En outre, nous avons là l'expression d'un effet Gutman (BENZÉCRI *et al*, 1980). La classe de taille la plus élevée de HVG (FIG. 2b) a la contribution la plus forte sur F2 (111). Petits et grands vagins s'opposent de manière sensible sur cet axe (FIG. 2c).

Le troisième facteur F3 n'apporte pas d'information fondamentale et ne sera pas représenté.

STRUCTURE DE LA POPULATION PARASITAIRE ET VARIABLES ENVIRONNEMENTALES

La figure 3 représente les 68 variables-colonne dans le plan F1/F2 de l'A.F.C.

L'axe F1 (27,2 % de l'inertie) est expliqué par : a) la taille des hôtes avec un gradient de L1 (contribution égale à 154) à L4 (contribution égale à 200) ; b) le périmètre des Monogènes avec un gradient de Per1 à Per3 (contributions respectivement égales à 50 et 84). Autrement dit, les *Ligophorus* de périmètre réduit, présents sur les plus petits hôtes s'opposent à ceux de périmètre important présents sur les poissons de grande taille. Ce gradient est superposable au gradient de taille des pièces haptoriales évoqué dans le paragraphe précédent.

Cette opposition entre petits parasites à pièces haptoriales réduites sur des hôtes de faible dimension d'une part, et grands parasites à larges pièces haptoriales sur des poissons de longueur élevée d'autre part, est particulièrement net dans la figure 4, où sont repris une partie des résultats de l'A.C.P. réalisée *in* CALTRAN *et al.*, (1995).

La figure 4 représente, dans le plan F1-F2, tous les individus parasites présents sur les hôtes d'hiver et de printemps. Ces poissons ont la particularité d'être principalement des L1 ou des L4. Indépendamment de leur stade de maturité et donc de leur âge, ces Monogènes sont nettement discriminés en deux sous groupes.

Les résultats de l'A.F.C. (FIG. 3) montrent également que les modalités M0 et M1 de la variable "nature du milieu aquatique" présentent des contributions non négligeables (respectivement 103 et 77) : les muges capturés en zone dulçaquicole (coordonnées de M0 positives sur F1)

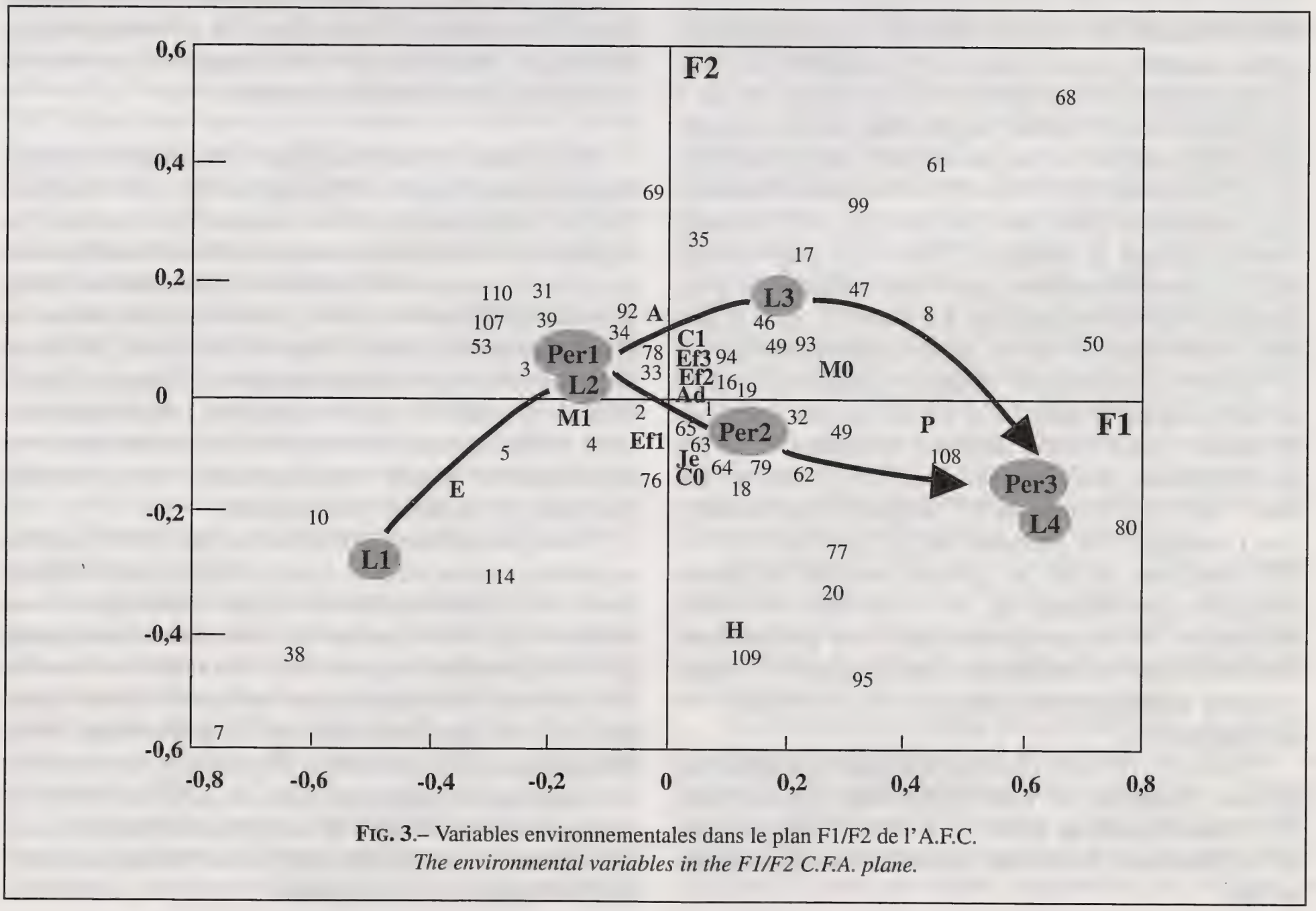


FIG. 3.– Variables environnementales dans le plan F1/F2 de l'A.F.C.
The environmental variables in the F1/F2 C.F.A. plane.

Source : MNHN

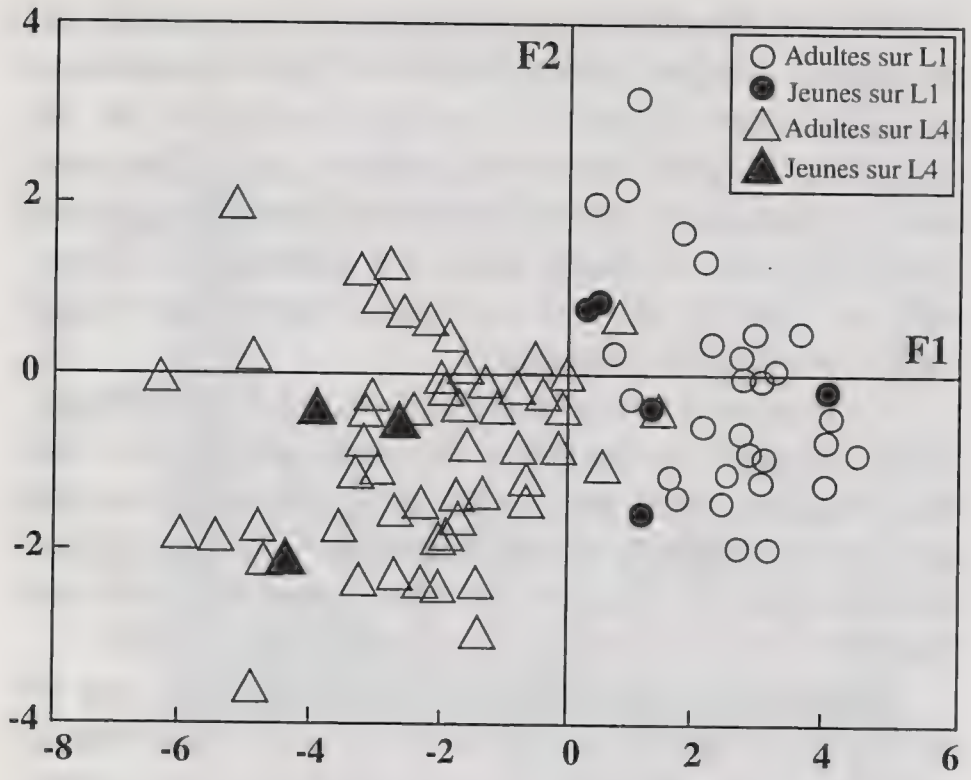


FIG. 4.– Individus-parasites jeunes et adultes sur des hôtes de petite et grande taille : représentation des points correspondants dans le plan F1/F2 de l'A.C.P. réalisée *in* CALTRAN *et al.*, 1995.

Young and adult parasite individuals on small and large-sized hosts : graphical representation of the corresponding points in the PCA F1/F2 plane realized in CALTRAN et al., *1995.*

sont en majorité plus grands que ceux échantillonnés en milieu saumâtre (coordonnées de M1 négatives sur F1). La proximité de la modalité E (Été) vers L1, ou de P (Printemps) vers L4 traduit la plus forte représentativité, dans les échantillons de ces saisons, des hôtes de taille L1 ou L4. La densité (D0, D1 ou D2) et le stade de maturité des *Ligophorus* (Je et Ad), la présence ou l'absence d'autres espèces de parasite (C0 ou C1) n'interviennent pas. Les stations ont toutes une faible contribution et ne jouent pas de rôle prédominant. La station 3, qui a la plus forte contribution (24) sur F1, se caractérise par le fait que 45 des 449 *Ligophorus* de l'analyse s'y trouvent, dont 36 sur des poissons de taille L2 et L3. La position excentrée de certains points-station tient aux conséquences qu'ont des événements plus rares dans une A.F.C. Ainsi les stations 7 ou 80, excentrées sur F1, comptent respectivement 2 et 1 parasites ; les poissons sont du type L2 (7) et L3 (80). Dans tous les cas, les groupes localisés de stations marginales (par exemple 50, 80 et 108 dans les valeurs positives de F1) ne correspondent pas à des positions particulières dans les branchies. Les considérer comme variables supplémentaires dans l'A.F.C. ne change rien aux conclusions.

L'axe F2 (10 % de l'inertie) souligne l'influence des saisons. Il oppose des individus grands (L4) ou petits (L1) échantillonnés en hiver (contribution : 244) au reste de la population. Les autres variables n'expliquent pas cet axe.

DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Nous retiendrons des résultats présentés les faits suivants :

• Les muges d'une taille voisine de 10 cm sont porteurs de *L. imitans* de petite taille ; les mensurations de leurs crochets de fixation sont réduites. Les muges d'une trentaine de centimètres abritent des Monogènes aux caractéristiques inverses. Les poissons de tailles et d'âges intermédiaires sont parasités par des *Ligophorus* aux caractéristiques médianes. L'appareil génital mâle ou femelle n'est pas concerné par ces gradients.

• Le stade de maturité de ces parasites, et par conséquent la structure démographique des infrapopulations, n'interfèrent pas avec ces tendances. Les groupes discriminés ne sont donc pas le fait de la relation classique âge-taille.

• L'effectif local de *L. imitans*, la présence d'espèces différentes et donc de compétiteurs potentiels, n'ont pas d'effet décelable.

• La position des différents individus dans les branchies, biotopes de nature hétérogène, n'a pas d'incidence sur la variabilité morphologique observée.

• La saison et le caractère doux ou salé des milieux considérés n'ont pas d'effet direct sur la plasticité morphologique. Aucun groupe n'est ségrégé sur ces critères, et aucun gradient saisonnier n'apparaît.

Si la plasticité morphologique a été mise en évidence chez un certain nombre de Monogènes (*cf.* CALTRAN *et al.*, 1995), l'identification de son déterminisme est rare. La dépendance de taille entre parasites et hôtes avait été notée chez des *Dactylogyridae* de carpes (*Hypophthalmichthys*) (GUSSEV & KULEMINA, 1971), chez les *Diplectanum* du Bar *Dicentrarchus labrax* (SILAN & MAILLARD, 1989), et chez *Dactylogyrus hypophtalmichthys,* Monogène branchial de la carpe *H. molitrix* (BELOVA, 1988). Cette présente étude est cependant la première à démontrer cette dépendance à l'échelle "populationnelle", et en considérant plusieurs variables simultanément.

Nous avons montré (CALTRAN *et al.*, 1995) que les appareils génitaux mâle et femelle étaient quasi indépendants de l'opisthohapteur sur le plan biométrique. Nous montrons ici, d'une part que les mesures des principales pièces haptoriales sont associées à la taille des hôtes et donc de leurs branchies, d'autre part que les pièces génitales ne sont pas concernées par ce phénomène. Nous interprétons ce résultat comme l'expression de l'influence des contraintes environnementales, en particulier hydrodynamiques et anatomiques, sur le système de fixation de ces Monogènes. La variabilité observée chez les organes génitaux échapperait à ces contraintes.

Source : MNHN

Il convient de rappeler en effet que le biotope "branchies de téléostéen" est un biotope de type mosaïque très hétérogène, tant du point de vue de l'hôte (nombre de filaments, surface branchiale) que des facteurs environnementaux externes (milieu aquatique) (PALING, 1968 ; WOOTEN, 1974 ; SILAN *et al*, 1987 ; SILAN & LE POMMELET, 1995). L'hétérogénéité des branchies, et la vitesse des courants les traversant, augmentent avec leur taille et donc l'âge des hôtes. L'éthologie des poissons est également en cause, puisque les adultes nagent beaucoup plus rapidement. Or nous savons depuis KEARN (1970) que la performance de l'attachement des Monogènes sur les lamelles branchiales est étroitement liée à la taille des crochets, de leur garde et de la profondeur de leur lame. GUSSEV (1967) et GUSSEV & KULEMINA (1971) ont même montré que la longueur des crochets augmentait avec la longueur des lamelles secondaires. Cette augmentation de la longueur des lamelles secondaires avec la taille des branchies pourrait expliquer l'indépendance entre longueur et profondeur de la lame des crochets (CALTRAN *et al.*, 1995). La longueur de la lame semble augmenter plus rapidement avec la taille de l'hôte que sa profondeur.

Un accroissement allométrique simultané, du fait d'un vieillissement également simultané des muges et des *Ligophorus*, ne peut pas être en cause. Le taux de renouvellement des populations de Monogène est beaucoup trop rapide (LAMBERT, 1977 ; SILAN & MAILLARD, 1989). Les *Ligophorus* vivent quelques mois, tandis qu'un muge de 40 cm de longueur totale a environ six ans (FARRUGIO, 1975). On sait en outre que le hapteur et ses pièces sclérifiées cessent de croître bien avant que le parasite n'ait atteint sa taille maximale (SPROSTON, 1946 ; BRINKMANN, 1952 ; SILAN & MAILLARD, 1989). Enfin, si la relation âge-taille était déterminante, les tendances observées concerneraient également le système génital.

Pour des *Gyrodactylus*, KULEMINA (1988) n'observe pas cette relation entre taille des crochets et taille des hôtes. *Salsuginus yutanensis* est un Ancyrocephalidae ectoparasite de *Fundulus sciadicus* ; FERDIG *et al.*, (1993) associent la variabilité de la taille de ses crochets à des effets de sites et de dates, et non pas à la variation de taille de l'hôte. Mais la relative homogénéité des tailles des hôtes échantillonnés par ces derniers auteurs (38 à 63 mm) pourrait être en cause.

La structure démographique des infrapopulations n'a pas d'incidence sur les tendances morphologiques observées. La relation âge-taille ne prend pas l'importance qu'elle prend chez d'autres organismes, du fait de la croissance rapide de ces Monogènes et des pièces haptoriales (SPROSTON, 1946 ; BRINKMANN, 1952 ; SILAN & MAILLARD, 1989).

Les variations locales d'effectif de *L. imitans,* la présence d'espèces différentes, et donc de compétiteurs potentiels, n'ont pas d'effet décelable. L'accroissement des compétitions intra ou interspécifique, et la limitation des ressources qui en résulte, ont parfois une action déterminante sur la plasticité morphologique de certains plathelminthes du tube digestif. Ce phénomène a été décrit entre autres chez des Cestodes du genre *Hymenolepis*, *Diphylobotrium*, *Eubotrium*, et *Bothriocephalus* (KENNEDY,1983), chez des Trematodes mesoparasites du genre *Fasciola* (BORAY, 1969) et ectoparasites du genre *Transversotrema* (MILLS, 1980). Une telle action n'est pas visible dans la population de *Ligophorus* étudié ; ce résultat mérite néanmoins d'être confirmé dans des situations d'effectif bien plus élevé.

La répartition branchiale de ces *Ligophorus* n'influe pas sur leur plasticité morphologique. Ce point devra être confirmé pour d'autres populations, compte tenu du rôle joué par les contraintes hydrodynamiques sur cette répartition branchiale (PALING, 1968 ; WOOTTEN, 1974 ; SILAN, 1984). Dans notre échantillon, *L. imitans* occupe 49 stations élémentaires sur les 120 définies (SILAN & LE POMMELET, 1995). Ces stations ont la particularité d'être principalement des stations dites basales, autrement dit dans la zone la plus interne définie sur les filaments. Le nombre relativement réduit de positions prises par les monogènes étudiés, et le fait que les stations utilisées sont structurellement assez équivalentes, ne traduisent pas l'hétérogénéité à laquelle d'autres populations sont soumises. L'absence de tendance à cette échelle en est peut-être la résultante.

La nature saumâtre ou dulçaquicole des milieux visités n'a pas d'effet direct sur la plasticité morphologique. Aucun gradient saisonnier, lié ou non à la température, n'apparaît. Les *Ligophorus* réagissent donc différemment de certains *Gyrodactylus* à générations emboîtées (MALMBERG, 1970 ; ERGENS, 1965 a et b, 1975 et 1976 ; ERGENS & GELNAR, 1985 ; OGAWA, 1985 ; KULEMINA, 1988 ; MO, 1991 a, b et c). Chez ces derniers, la taille des crochets augmente lorsque la température diminue. D'après KULEMINA puis MO, ce phénomène serait lié à la rétention prolongée de la génération emboîtée aux basses températures. Cette génération sortirait au terme d'un développement plus complet. Comme l'indiquent ces auteurs, les variations notées dépendraient de la nature vivipare des *Gyrodactylus*, et indirectement de la température.

MALMBERG (1970) puis KULEMINA (1988) indiquent aussi une variation de la taille des crochets en fonction de la composition chimique de l'eau. La salinité notamment augmenterait le taille des crochets. Nous ne pouvons pas confirmer cela.

En termes de biologie des populations, ces divers résultats sont importants car ils mettent en évidence la capacité qu'a chaque infrapopulation parasitaire à s'adapter à un environnement changeant, et dans tous les cas diffèrent d'une catégorie d'hôtes à une autre. Les populations étudiées ici sont de nature fragmentée, et ce type de

Source : MNHN

système est "paramétrable", naturellement, par le choix même de ces hôtes. Ces modèles sont donc de toute évidence d'un grand intérêt pour étudier le caractère adaptatif et plus ou moins rapide de tel ou tel caractère, et pour identifier les éventuels facteurs écologiques en cause.

Ces résultats sont également importants du point de vue évolutif. Ils montrent à quel point cette variabilité peut être différentielle dans le temps, l'espace, et selon les organes considérés. Cette variabilité, rarement mise en évidence et encore moins souvent expliquée, n'a jamais été prise en compte dans les travaux d'ordre phylétique. Il serait utile qu'elle le soit. Enfin, rappelons que *Liza ramada* est parasité par trois espèces congénériques de *Ligophorus* qui ne différent morphologiquement que par quelques traits : forme et/ou taille des hamuli, du pénis et du vagin. Il paraît désormais intéressant de s'interroger sur la variabilité des autres espèces et son déterminisme. Le problème plus général de leur spéciation dans un contexte de populations fragmentées pourra ainsi être posé.

BIBLIOGRAPHIE

BELOVA, S.V., 1988.– Variability of chitinoid structures of *Dactylogyrus hypophtalmichthys* (Monogenoidea) in relation to host size and season. *In* : SKARLATO, O.A., (eds) *Investigations of monogeneans in the USSR*, Leningrad : 38-43.

BENZECRI, J.P., 1980.– *L'analyse des données.* Tome I : *La taxinomie*, 652 p. Tome II : *L'analyse des correspondances*, 632 p. 3ème édition, Dunod, Paris.

BORAY, J.C., 1969.– Experimental fascioliasis in Australia. *Adv. Parasit.*, 7 : 95-210.

BRINKMANN, A.J., 1952.– Fish trematodes from norwegian waters. *Naturv. rekke.*, 1 : 25-75.

CALTRAN, H., SILAN, P. & ROUX, M, 1995.– *Ligophorus imitans* (Monogenea) ectoparasite de *Liza ramada* (Teleostei) : I. Populations naturelles et variabilité morphologique. *Ecologie,* 26 : 95-104.

ERGENS, R., 1965a.– Die Morphogenese der chitinoiden Teile des Haptors bei *Gyrodactylus decorus* Malmberg, 1956 (Monogenoidea) und ihre morphologisch-metrische Variabilität. *Z. Parasitkde,* 25 : 359-370.

ERGENS, R., 1965b.– Die Morphogenese der chitinoiden Teile des Haptors bei *Gyrodactylus tincae* (Malmberg, 1956) Malmberg, 1964 (Monogenoidea) und ihre morphologisch-metrische Variabilität. *Z. Parasitkde,* 26 : 173-184.

ERGENS, R., 1975.– Contribution to the knowledge of the species *Gyrodactylus aphyae* Malmberg, 1957 and *G. pannonicus* Molnar, 1968 (Monogenoidea : Gyrodactylidae) *Vest. Cesk. Spol. Zool.*, 39 : 1-8.

ERGENS, R., 1976.– Variability of hard parts of opisthaptor of two species of *Gyrodactylus* Nordmann, 1832 (Monogenoidea) from *Phoxinus phoxinus*. *Folia parasit.,* 23 : 111-126.

ERGENS, R. & GELNAR, M., 1985.– Experimental verification of the effect of temperature on the size of hard parts of *Gyrodactylus katharinei*, Malmberg, 1964 (Monogenea). *Folia parasit.*, 32 : 377-380.

FARRUGIO, H., 1975.– *Les Muges (Poissons, Téléosteens) de Tunisie. Répartition et pêche. Contribution à leur étude systématique et biologique*. Thèse de Doctorat de 3ème cycle. Université des Sciences et Techniques du Languedoc : 201p.

FERDIG, M.T., McDOWELL, M.A., JANOVY, J. & CLOPTON, R.E., 1993.– Patterns of morphological variation of *Salsuginus yutanensis* (Monogenea : Ancyrocephalidae) over space and time. *J. Parasit.*, 79 : 744-750.

GUSSEV, A.V., 1967.– The morphological criterion and characters of freshwater monogenetic Trematodes in modern taxonomy. *Parasitologica,* 1 : 55-66.

GUSSEV, A.V. & KULEMINA, I.V., 1971.– Variability of characters, behaviour and cycle of development of monogeneans in relation to age of host. *Parasitologica*, 5 : 320-327 (en russe).

KEARN, G.C., 1970.– The attachment of the ancyrocephalid monogenean *Haliotrema balisticus* to the gills of trigger fish, *Balistes capriscus* (= *carolinensis*). *Parasitol.*, 63 : 157-162.

KENNEDY, C.R., 1983.– General ecology. *In* : ARME, C & PAPPAS, P.W., (eds) *Biology of the Eucestoda. Vol.1*. Academic Press, London : 28-80.

KULEMINA, I.V., 1988.– Size variability of the adhesive elements in some species of *Gyrodactylus*. *In* : SKARLATO, O.A., (eds) *Investigations of monogeneans in the USSR*., Leningrad : 34-37.

LAMBERT, A., 1977.– Développement larvaire et post-larvaire d'*Ergenstrema mugilis* Paperna, 1964 (Monogène, Ancyrocephalidae) parasite de *Liza ramada* (Risso, 1826) (Téléostéen, Mugilidae). *Z. Parasitkde.*, 52 : 229-240.

LEBRETON, J.D., ROUX, M., BANCO, G. & BACOU, A.M., 1990.– *BIOMECO (biométrie écologie) version 3.9 software of statistical Ecology for P.C.* Avenix, CNRS, 46 p.

MALMBERG, G., 1970.– The excretory system and the marginal hooks as a basis for the systematics of *Gyrodactylus* (Trematoda, Monogenea). *Arkiv for Zoologi*, serie 2, 23 : 1-235.

MILLS, C.A., 1980.– Age- and density-dependant growth within populations of the ectoparasitic digenean *Transversotrema patialense* on the fish host. *Int. J. Parasit.*, 10 : 287-291.

MO, T.A., 1991 a.– Seasonal variations of opisthaptoral hard parts of *Gyrodactylus salaris* Malmberg, 1957 (Monogenea : Gyrodactylidae) on parr of Atlantic salmon *Salmo salar* L. in the River Batnfjordselva, Norway. *Syst. Parasit.,* 19 : 231-240.

MO, T.A., 1991 b.– Seasonal variations of opisthaptoral hard parts of *Gyrodactylus salaris* Malmberg, 1957 (Monogenea : Gyrodactylidae) on rainbow trout *Onchorhynchus mykiss* (Walbaum, 1972) in a fish farm, with comments on the spreading of the parasite in south-eastern Norway. *Syst. Parasit.,* 20 : 1-9.

MO, T.A., 1991 c.– Variations of opisthaptoral hard parts of *Gyrodactylus salaris* Malmberg, 1957 (Monogenea : Gyrodactylidae) on parr of Atlantic salmon *Salmo salar* L. in laboratory experiments. *Syst. Parasit.,* 20 : 11-19.

OGAWA, K., 1985.– A Monogenean Parasite *Gyrodactylus masu* sp.n. (Monogenea : Gyrodactylidae) of Salmonid Fish in Japan. *Bul. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 52 : 947-950.

PALING, J.E., 1968.– A method of estimating the relative volume of water flowing over the different gills of a freshwater fish. *J. exp. Biol.*, 48 : 533-544.

SILAN, P., 1984.– *Biologie comparée des populations de Diplectanum aequens et Diplectanum aubieri, Monogènes branchiaux de Dicentrarchus labrax.* Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Université des Sciences et Techniques du Languedoc : 275 p.

SILAN, P., EUZET, L., MAILLARD, C. & CABRAL, P., 1987.– Le biotope des ectoparasites branchiaux de Poissons : Facteurs de variations dans le modèle Bar-Monogènes. *Bull. Ecol.*, 18 : 383-391.

SILAN, P. & LE POMMELET, E.– Le biotope des ectoparasites

Source : MNHN

branchiaux : définition de l'espace colonisé et des unités d'échantillonnage. *Ecologie,* 26 : 7-14.

SILAN, P. & MAILLARD, C., 1989.– Biologie comparée du développement et discrimination des Diplectanidae ectoparasites du Bar (Teleostei). *Ann. Sci. Nat., Zool., Paris. 13ème série,* 10 : 31-45.

SPROSTON, N., 1946.– A synopsis of the monogenetic trematodes. *Trans. Zool. Soc. Lond.*, 25 : 185-600.

WOOTEN, R., 1974.– The spatial distribution of *Dactylogyrus amphibothrium* on the gills of raffe *Gymnocephalus cerma* and its relation to the relative amounts of the water passing over the parts of the gills. *J. Helminth.*, 48 : 167-174.

ENGLISH ABRIDGED VERSION

Ligophorus imitans (Monogenea, Ancyrocephalidae) is a gill ectoparasite of *Liza ramada* (Teleostei). In Camargue (Rhône delta, France), the haptor hard parts and the copulatory organs of this helminth show a notable phenotypic variability (CALTRAN *et al*, 1995).

Each parasite infrapopulation is subject to environmental constraints. These constraints result from the biology and the host ecology. The gill size and the gill biotope heterogeneity increase with the host age. The hydrodynamic caracteristics depend on this heterogeneity and affect the gill distribution of these monogeneans. The first aspect of the ecological problem consists to analyse the potential link between these distributions and the morphological variability of the opisthaptor. In the Rhône delta, the mullet *Liza ramada* moves from brackish to fresh areas and vice versa according to the seasons. The potential effect of physico-chimical constraints associated with such behaviours on the morphological variability is also unknown. Moreover, each parasite infrapopulation has its own characteristics influenced by the demographic processes : age classes, stages of sexual maturity, local parasite densities and community structure. The influence of eight of these environmental or structural variables (see TAB. I) on the phenotypic variability has been studied by a correspondence factorial analysis (C.F.A.). This morphological plasticity has been assessed with the fourteen biometrical variables considered in CALTRAN *et al*, 1985. Each of these biometrical variables has been redefined with 6 categories (see TAB. II for the contingency table structure).

The eigenvalues graph is presented figure 1. The F1/F2 plane has been analysed : figures 2a, 2b et 2c show the biometrical variables in this plane ; the environmental and structural variables are represented in figure 3. Six of the fourteen biometrical variables are subject to a gradient on F1 : there are the blade lengths and the total length of the ventral anchor, the ventral bar total length, the blade, the guard and the total lengths of the dorsal anchor. The small and high values of these variables are opposed on this axis (FIG 2a). The host length and the parasite perimeter are concerned by the same gradient (FIG 3). Small and big vagina are mainly opposed on the F2 axis (FIG 2c). Some more precise interpretations can be drawn from these different figures (2a, 2b, 2c and 3) :

• the small mullets (about 10 cm) have parasites with small anchors. The large-sized mullets (about 30 cm) have monogeneans with inverse characteristics. The male or female copulatory organs are not concerned by these gradients. A simultaneous allometric growth related to a simultaneous ageing of the hosts and their parasites cannot explain the relation between parasite, host and anchor sizes. The average span of life is in fact a few months for *L.imitans* and more than 6 years for a mullet. On the other hand, the concomitant increase of size between *Ligophorus* anchors and *Liza ramada* lengths could be related to the hydrodynamic (PALING, 1968 ; WOOTEN, 1974 ; SILAN *et al*., 1987) and anatomical (GUSSEV & KULEMINA, 1971) constraints supported by these ectoparasites. Firstly, the currents and the secondary lamella lengths increase with the gill size. Secondly, the performances of the parasite attachment to the gills are associated to the anchor length, its guard size and the depth of its blade (KEARN, 1970).

• the stage of sexual maturity and hence the infrapopulation demographic structures do not interfere with these trends. The different groups are not discriminated according to the usual age-size relation.

• the local density of *L. imitans*, the presence of some other parasite species and therefore the presence of potential competitors have no detectable effects.

• the gill position occupied by these monogeneans does not influence the observed morphological variability.

• the seasons (temperature) and the nature of the sampling sites (salinity) have no direct effects on the morphological plasticity.

These different results are important from the population biology viewpoint. They bring to the fore the ability of each infrapopulation to adapt to variable environments and to the physical constraints associated to the host. These populations are naturally fragmented, and the choice of environmental parameters can be made *a priori*. So the more or less quick change of some morphological characteristic or other, and the ecological processes involved, can be tested. These results are also important from the evolution viewpoint. They underline how this variability can be differential in time, in space, and according to the biological organs considered. This morphological plasticity was not often underscored and explained ; it was even more rarely considered in phylogenetic works. Finally, three congeneric and morphologically close species of *Ligophorus* are ectoparasites of *Liza ramada*. A comparative approach of their respective variability in a fragmented population context could cast new light on the general problem of such speciations.

Source : MNHN

Source : MNHN

Ecologie, t. 26 (2) 1995 : 115-126

EFFETS DES TRAITEMENTS CHIMIQUES ANTIACRIDIENS SUR DES COLÉOPTÈRES TERRESTRES AU NORD DU BURKINA FASO*

Gilles BALANÇA & Marie-Noël DE VISSCHER

CIRAD-GERDAT-PRIFAS, BP 5035, 34032 Montpellier, France

SUMMARY
(original scientific paper)

IMPACT OF CHEMICAL GRASSHOPPER CONTROL ON NON-TARGET TERRESTRIAL COLEOPTERA IN NORTHERN BURKINA FASO.
The impact of chemical treatments for grasshopper control on non-target Carabidae, Scarabaeidae *and* Tenebrionidae *was investigated over two crop seasons (1992 and 1993) in northern Burkina Faso. The study was carried out using pitfall traps in eight separate treated areas ranging from 15 to 300 ha. Lambdacyhalothrin temporarily reduces Coleoptera populations. High doses of pyridaphention (500 g a.i./ ha) produced high insect mortality without recolonization within 30 days, particularly among Tenebrionidae beetles which were less affected by lower pesticide doses. The vegetation cover and date of treatment were also found to be important factors in determining the extent of the impact of chemical treatments on non-target Coleoptera.*

KEY WORDS : Burkina Faso - Grasshopper control - Ecotoxicology - Non-target Coleoptera - Malathion - Lambdacyhalothrin - Pyridaphention.

RÉSUMÉ
(travail original)

Une analyse des effets sur les populations de Carabidae, *de* Scarabaeidae *et de* Tenebrionidae *de traitements chimiques contre les sauteriaux, au nord du Burkina Faso, a été menée, durant les campagnes agricoles de 1992 et de 1993, au moyen de pièges d'interception disposés dans huit parcelles traitées d'une surface de 15 à 300 ha. Il apparaît que la lambdacyhalothrine entraîne toujours une réduction temporaire des populations de coléoptères. Une forte dose de pyridaphention (500 g m.a./ ha) provoque une mortalité importante sans recolonisation dans les 30 jours notamment chez les* Tenebrionidae *qui souffrent beaucoup moins en cas de dose plus faible (250 g m.a./ ha). L'importance du couvert végétal et de la date des traitements chimiques pour la gravité de ses effets sur les coléoptères non-cibles est également mise en évidence.*

MOTS CLÉS : Burkina Faso - Lutte antiacridienne - Écotoxicologie - Coléoptère non-cible - Malathion - Lambdacyhalothrine - Pyridaphention.

INTRODUCTION

Le problème des effets des traitements chimiques phytosanitaires sur les coléoptères terrestres a déjà fait l'objet de nombreux travaux en région tempérée, en particulier pour les auxiliaires de l'agriculture. Pour quatre insecticides parmi les plus largement employés en lutte antiacridienne (malathion, fénitrothion, chlorpyriphos, deltaméthrine), MURPHY *et al.*, (1994) ont recensé 896 études portant sur les coléoptères, au laboratoire ou sur le terrain. L'analyse de ces résultats montre que globalement, ce taxon s'est révélé très sensible (plus de 90 % de mortalité) dans 36 à 68 % des cas étudiés, selon l'insecticide. Cette approche globale permet de classer les insecticides en fonction du risque qu'ils font courir à la faune non-cible et ensuite d'approfondir les recherches vers les organismes non-cibles les plus sensibles et les produits potentiellement les plus ou les moins dangereux.

Malheureusement, comme le font remarquer les auteurs, faute de travaux suffisants sur les taxons non-cibles des milieux concernés par la lutte antiacridienne, il faut être particulièrement prudent avant d'y extrapoler les résultats d'analyse de travaux réalisés en milieux tempérés. De plus, les doses d'insecticide utilisées en lutte antiacridienne, en particulier contre le Criquet pèlerin [*Schistocerca gregaria* (FORSKÅL, 1775)], sont parmi les plus élevées en matière de protection des plantes (EVERTS 1990).

* Manuscrit reçu le 12 juin 1995 ; version révisée et acceptée pour publication le 9 octobre 1995

Source : MNHN

Les travaux de terrain sont indispensables car il a souvent été démontré que de nombreux facteurs liés au type d'habitat, au comportement et aux conditions climatiques et saisonnières agissent fortement sur le degré d'exposition des organismes au produit et donc sur la dose réellement reçue (JEPSON & TACKER 1990, INGLESFIELD 1989, DANFA & VAN DER VALK 1993). En outre, un insecticide peut affecter indirectement un organisme tolérant en laboratoire en éliminant, par exemple, ses proies ou certains de ses hôtes (JEPSON 1988, JEPSON & SHERATT 1991).

C'est donc pour contribuer au choix d'insecticides et de méthodes de lutte antiacridienne plus efficaces sur les acridiens-cibles mais aussi moins nocifs pour la faune non-cible que, depuis la dernière invasion du Criquet pèlerin en 1988, les effets des insecticides épandus (certaines années sur des millions d'hectares) ont été sérieusement envisagés. Quelques expériences ont ainsi été tentées au Mali, dans le cadre de la lutte contre le Criquet sénégalais où OTTESSEN *et al.*, (1989), JOHANNESSEN (1991) et FISKVATN (1993) ont testé l'efficacité sur les sauteriaux et les effets sur les insectes non-cibles de traitements à des doses de fénithrothion ou de lambdacyhalothrine inférieures à celles qui sont généralement recommandées. KEITH *et al.*, (1992), au Maroc, ont tenté de voir les effets sur les insectes et les oiseaux de traitements contre le Criquet pèlerin. Depuis 1989, une équipe travaille au Sénégal sur le cas des invertébrés aquatiques et terrestres soumis à des traitements chimiques aux doses recommandées contre le Criquet pèlerin (EVERTS 1990, VAN DER VALK 1990, DANFA & VAN DER VALK 1993, NIASSY *et al.* 1993, LAHR 1990 et LAHR & DIALLO 1993). PEVELING *et al.*, (1994) ont étudié l'impact de méthodes alternatives de lutte (biopesticides) contre le Criquet pèlerin sur les invertébrés des zones sahariennes.

Dans ces travaux, les coléoptères sont toujours étudiés car ils sont souvent abondants et comportent un certain nombre de groupes considérés comme auxiliaires de l'agriculture, en particulier en tant que prédateurs, détritivores, nécrophages ou coprophages.

Tous les travaux sur le terrain, notamment en milieu tropical, se heurtent cependant, avec plus ou moins d'intensité, à des problèmes méthodologiques, pour l'étude des coléoptères :

- Diversité spécifique élevée et échantillons trop petits pour pouvoir y appliquer des tests statistiques fiables
- Conditions de traitement très hétérogènes au cours d'une saison des pluies très courte et variable d'une année à l'autre induisant une très grande variabilité dans les échantillons
- Pauvreté des connaissances sur la biologie des principales espèces (cycle, habitat) et même sur leur taxonomie
- Grande variabilité interspécifique de la tolérance aux insecticides, au sein d'une même famille taxonomique.

Le présent article expose les résultats obtenus, lors d'une étude de deux ans lancée en 1992, au Burkina Faso, sur les effets pour les insectes non-cibles de traitements chimiques contre les sauteriaux. Ce travail visait la mise au point d'une méthodologie compatible avec les conditions locales de travail et l'identification de certains taxons intéressants en tant que bio-indicateurs de l'impact des insecticides.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

SITE ET PÉRIODE D'ÉTUDE

Située au nord-ouest de Ouagadougou, capitale du Burkina Faso, entre Ouahigouya (13°34'N, 2°25'E) au sud et la frontière du Mali au nord (FIG. 1.), la zone d'étude se caractérise par une rapide transition d'une végétation nord-soudanienne à sud-sahélienne. Le paysage de cette région, en moyenne très peuplée, est largement dominé par les cultures pluviales de céréales et les zones de pâturage pour les troupeaux de zébus et de petits ruminants.

En 1992, une première évaluation des effets, sur l'entomofaune non-cible, de cinq traitements chimiques antiacridiens a été menée. Les traitements de début de saison ont été réalisés en juillet sur des champs de mil au stade de la germination ou du tallage. En fin de saison des pluies (septembre et octobre), il s'agissait de parcelles de friches entourées ou mélangées de cultures au stade des grains laiteux ou durs. La végétation naturelle herbacée, d'environ 50 cm de hauteur, était alors déjà sèche et couvrait 50 à 90 % du sol. La couverture des strates buisson-

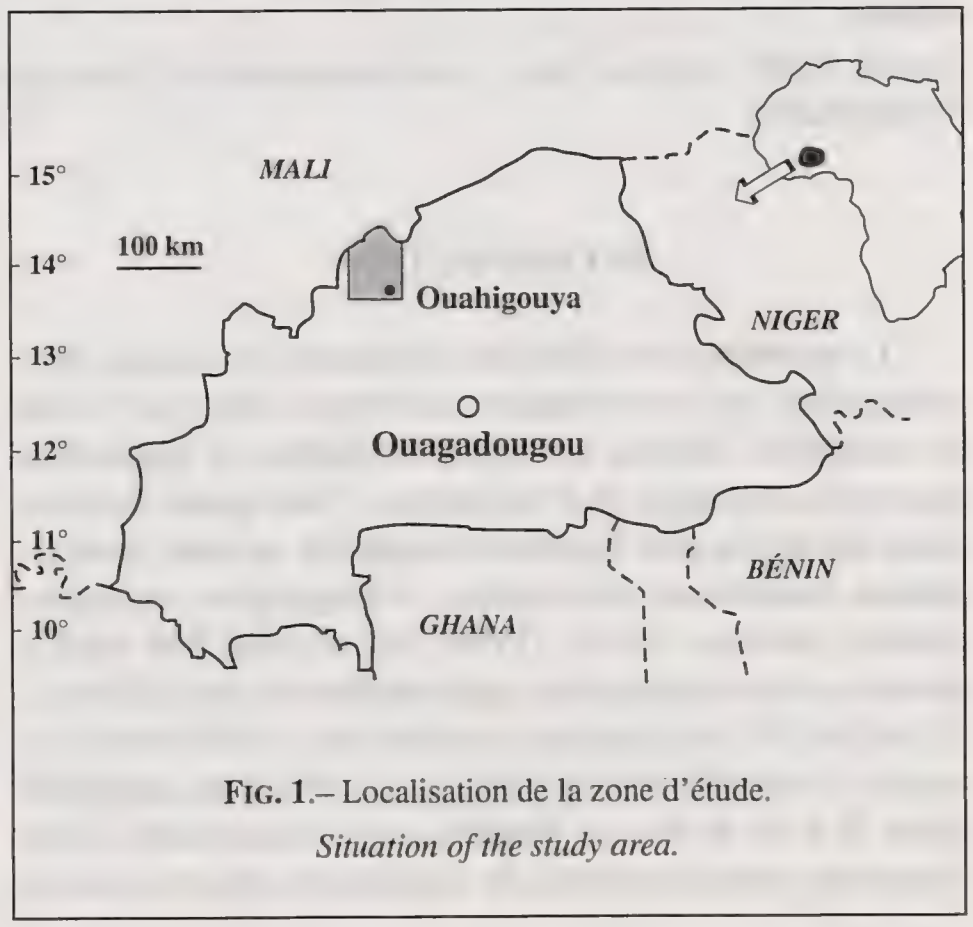


FIG. 1.– Localisation de la zone d'étude.
Situation of the study area.

Source : MNHN

TABLEAU I.– Principales caractéristiques des traitements étudiés pendant les campagnes de lutte antiacridienne de 1992 et de 1993.
Caracteristics of chemical treatments studied during 1992 and 1993 control campaigns against grasshoppers.

Site	Date	Insecticide Matière active	Dose m.a./ ha	Surface traitée	Milieux traités	Jours de relevés avant et après traitement (J0)
Kaïn Ouro	13 juillet 92	deltaméthrine	10 g	50 ha	culture friche	J0, J7, J19, J38
Sabouna	29 juillet 92	deltaméthrine	10 g	300 ha	culture	J0, J4, J14, J23, J39
Kouba	23 septembre 92	malathion	625 g	70 ha	friche	J-1, J2, J3, J8
Sollé	12 octobre 92	lambdacyhalothrine	20 g	300 ha	culture friche	J0, J3, J5, J17
Bembéla	21 octobre 92	lambdacyhalothrine	20 g	25 ha	friche	J-8, J4, J11, J21
Soulou	13 juillet 93	lambdacyhalothrine	20 g	50 ha	culture	J-3, J-1, J3, J5, J12, J14, J26, J28
Kouba	28 septembre 93	pyridaphention	500 g	15 ha	friche	J-2, J0, J3, J5, J15, J17, J29, J31
Sissamba	20 octobre 93	pyridaphention	250 g	20 ha	friche	J-1, J3, J14, J22

nante et arborée était toujours réduite, variant de 1 à 20 %. Deux traitements (Kaïn Ouro et Sollé) ont eu lieu dans l'extrême nord de la région, dans des conditions plus sahéliennes, où des cultures sont implantées sur des sols à dominance sableuse.

LES CAS DE TRAITEMENT ÉTUDIÉS

Les effets de deux pyréthrinoïdes (deltaméthrine et lambdacyhalothrine) et de deux organophosphorés (malathion et pyridaphention) ont pu être étudiés au cours de huit traitements différents. Le tableau I résume les principales caractéristiques des cas étudiés.

Ces insecticides ont été épandus sous forme de formulation UBV (ultra bas volume) à l'aide de pulvérisateurs électriques manuels ou à moteur thermique portés sur le dos, manipulés par des agents de la Direction de la protection des végétaux et du conditionnement du pays ou par des paysans formés à ce travail. Les surfaces supérieures à 100 ha ont été traitées avec un pulvérisateur monté sur un camion. En 1992, les doses d'insecticides mentionnées sont celles annoncées par les opérateurs et correspondent aux doses recommandées pour les sauteriaux. En 1993, un contrôle des surfaces traitées et des quantités de produit utilisé a permis de constater que dans un cas (Kouba), une erreur de manipulation avait entraîné un surdosage de 100 % (TAB. I).

En 1993, en l'absence d'importantes densités de sauteriaux, il a fallu recourir à des traitements chimiques expérimentaux réalisés à une époque et sur des sites potentiellement favorables aux pullulations de criquets.

LES RELEVÉS SUR LE TERRAIN

Toutes les expériences se sont déroulées suivant un schéma similaire : identification d'un nombre si possible identique de stations d'échantillonnage en parcelles traitées et témoins ; durant une période de un à huit jours avant le traitement, échantillonnage des populations d'arthropodes ; répétition des mêmes relevés trois à quatre fois après le traitement soit immédiatement après, au cours de la deuxième décade et si possible de la troisième décade suivant le traitement (TAB. I). Tous les relevés ont été effectués le même jour, sur les stations traitées et témoins. Ces dernières ont été établies non loin des parcelles traitées de façon à être dans des conditions écologiques similaires, tout en ne risquant pas de recevoir de produit lors du traitement. La très forte variabilité des résultats de 1992 a conduit à accroître, en 1993, le nombre d'échantillons récoltés avant et après traitement.

Le suivi des populations de coléoptères terrestres a été assuré à l'aide de pièges d'interception disposés en groupe de cinq. Des gobelets de 7 cm de diamètre, remplis d'eau savonneuse additionnée de formol, ont été enterrés à environ 2 m les uns des autres. Pour éviter un trop fort ensoleillement ou un débordement avec les pluies, ils étaient couverts d'un toit en plastique fixé à environ 4 cm au-dessus de l'ouverture. Entre 3 et 12 groupes de cinq pièges, selon le cas, étaient installés dans chaque parcelle. Le contenu de chacun de ces groupes de cinq pièges, récolté au bout de deux jours, correspond à un échantillon.

En 1993, afin de capturer plus spécifiquement des espèces nécrophages ou détritivores, des pièges d'interception appâtés pendant deux jours avec des morceaux de viande ont été mis en place. Les insectes récoltés vivants étaient identifiés et ensuite relâchés à quelques mètres des pièges.

LE TRAITEMENT DES DONNÉES

Tous les individus récoltés ont été conservés dans l'alcool à 70° et ensuite triés et comptabilisés au niveau de la famille. En 1993, les groupes bien représentés et de faible diversité ont été triés au niveau du genre ou de l'espèce.

Les résultats de captures en parcelle traitée sont présentés en valeurs absolues et relatives par rapport au

Source : MNHN

témoin échantillonné simultanément, permettant ainsi de distinguer l'effet du traitement de celui d'autres facteurs non contrôlés. Pour ce faire, le nombre d'individus collectés en parcelle traitée est divisé par le nombre obtenu en parcelle témoin le même jour :

$$\text{Abondance relative } (Ab_n) = Tr_n / Té_n$$

où

Tr_n = nombre de captures en parcelle traitée au jour "n"

$Té_n$ = nombre de captures en parcelle témoin au jour "n"

Un test statistique simple (test t-Student sur échantillons de taille réduite en tenant compte du degré de similitude des variances, logiciel Cstat du CIRAD-SAR) est ensuite appliqué aux données d'abondance relative afin de mesurer le caractère significatif de la variation des effectifs en zone traitée suite à l'épandage d'insecticide. Pour ce faire, chaque série d'abondance relative par période d'échantillonnage est comparée à la série de données obtenues avant le traitement (Ab_0). Afin de s'assurer de la normalité de distribution des données, on utilise le logarithme de ces abondances relatives. Une différence significative à $p < 0,05$ (notée *) ou à $p < 0,01$ (notée **) entre le nombre d'individus capturés avant et après le traitement implique l'existence d'un impact du traitement chimique sur la population du taxon considéré.

L'impact des traitements (I) sur l'abondance relative des captures est exprimé dans le texte et les tableaux en termes de % moyen de différence par rapport à la situation prétraitement (= 100 %), soit :

$$I_n = \frac{Ab_n}{Ab_0} 100 - 100$$

où

$$Ab_0 = Tr_0 / Té_0$$

Tr0 = nombre de captures en parcelle traitée avant le traitement
Té0 = nombre de captures en parcelle témoin avant le traitement

Une réduction des captures est parfois observée d'un relevé consécutif à l'autre, en raison d'un piégeage intensif, particulièrement entre les relevés situés juste avant et juste après le traitement. Cet effet de piégeage s'atténue lorsque l'intervalle de temps entre les séries de relevés s'allonge. La diminution temporaire des effectifs est parfois tellement importante lors du deuxième ou du troisième relevé consécutif qu'il devient difficile de distinguer un éventuel effet de l'insecticide. Pour cette raison, les résultats des deux relevés consécutifs de chaque période de quatre jours en 1993 ont été regroupés en une seule série de données.

ANALYSE DES RÉSULTATS

Les populations de coléoptères échantillonnés dans les pièges d'interception sont essentiellement constituées de *Tenebrionidae*, de *Carabidae* et de *Scarabaeidae*, occasionnellement d'*Anthicidae*.

TABLEAU II.– Nombres et pourcentages moyen de coléoptères capturés par groupe de cinq pièges posés pendant deux jours avant les traitements chimiques.

Average numbers and percentages of Coleoptera collected by five pitfalls group, during two days, before the chemical treatment.

Sites 1992	*Anthicidae*	*Carabidae*	*Scarabaeidae*	*Tenebrionidae*	**Nombre total moyen**
Kaïn (8)		9,25		42,25	51,50
Sabouna (18)	0,91	0,29	0,45	1,58	3,24
Kouba (9)		1,95	1,33	4,83	8,15
Sollé (6)			2,12	10,13	12,25
Bembéla (8)		0,45		3,17	3,62
Sites 1993					
Soulou (36)	3,00	0,22	1,55	3,64	8,20
Kouba (24)	4,41	1,91	0,15	8,37	14,85
Sissamba (12)				3,16	3,16
Nombre moyen de captures par famille	**1,04**	**1,76**	**0,7**	**9,64**	**13,14**
% du total des captures de coléoptères	**8 %**	**13 %**	**5 %**	**74 %**	**100 %**

() : nombre total de groupes de 5 pièges installés pendant 2 jours.

Source : MNHN

LE PEUPLEMENT DE COLÉOPTÈRES TERRESTRES

Sur un total de 1089 coléoptères capturés (1992 + 1993) dans les pièges avant les opérations de traitement, la famille des *Tenebrionidae* est globalement la plus abondante avec 74 % des individus récoltés (TAB. II). Cette famille est particulièrement bien représentée dans les régions désertiques et semi-désertiques comme en témoignent les chiffres de récolte sur les sites de Kaïn et de Sollé en 1992, où règnent des conditions plus strictement sahéliennes.

On s'intéressera particulièrement aux familles des *Carabidae*, des *Scarabaeidae* et des *Tenebrionidae* car elles présentent un intérêt dans les zones de cultures où sévissent les criquets. Elles sont en effet constituées soit d'espèces prédatrices, comme les larves de *Carabidae* et de *Tenebrionidae* qui s'attaquent notamment aux œufs de criquets (NIASSY *et al.*, 1993, GREATHEAD *et al.*, 1994), soit d'espèces nécrophages, coprophages ou détritivores comme dans les familles de *Scarabaeidae* et de *Tenebrionidae*. Ces dernières espèces jouent un rôle important dans le recyclage de la matière organique et par conséquent dans la fertilisation des sols. La famille des *Anthicidae* est principalement composée d'espèces phytophages ; elle est en outre trop irrégulièrement capturée pour pouvoir être étudiée en tant qu'indicateur des effets des insecticides sur la faune non-cible.

EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES CARABIDAE

Les *Carabidae* représentent, dans les échantillons pris avant les traitements, 13 % des captures (six sites sur huit). Aucune réduction statistiquement significative de la taille des échantillons de cette famille, prise dans son ensemble, suite à un épandage d'insecticide, n'a pu être mise en évidence (TAB. III).

En 1992, lors des deux traitements avec de la deltaméthrine, les effectifs ont plus augmenté en parcelles traitées que dans les zones témoins. Les échantillons témoins sont en outre très réduits ou très variables. Avec de la lambdacyhalothrine ou une forte dose de malathion en fin de campagne 92, l'absence d'individus capturés en parcelle témoin empêche d'attribuer au seul traitement la disparition des *Carabidae*.

En 1993, les réductions relatives d'effectifs de *Carabidae* observées juste après les épandages de pyridaphention ou de lambdacyhalothrine sont suivis d'une recolonisation sensible, 17 ou 28 jours plus tard. Une analyse limitée aux trois espèces présentes avant le traitement à la fois en parcelle traitée et témoin montre que le pyridaphention à forte dose (Kouba, 500 g m.a./ ha) a entraîné une disparition totale de ces *Carabidae* qui ne réapparaissent qu'en très faible nombre 17 et 31 jours plus tard. Dans le cas du traitement à la lambdacyhalothrine en juillet (Soulou), aucune espèce n'a été capturée, avant le traitement, à la fois dans les parcelles témoins et traitées. La découverte de nombreux cadavres, appartenant à au moins six espèces, le lendemain de ce traitement, confirme que ces coléoptères sont, au moins temporairement, sensibles à la lambdacyhalothrine. Rien ne permet par contre de quantifier ce phénomène, d'autant plus que 37 % des 24 individus apparemment morts ou paralysés qui ont été ramenés au laboratoire ont récupéré dans les 24 heures. En conditions naturelles, une partie d'entre eux aurait sans doute été éliminée par des prédateurs, mais la question reste posée.

EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES SCARABAEIDAE

Les *Scarabaeidae* représentent 5 % (cinq sites sur huit) de l'ensemble des coléoptères capturés dans les pièges d'interception avant les traitements, avec une moyenne de 0,7 individu par groupe de cinq pièges, en deux jours. Ce taxon trop peu représenté dans les pièges d'interception avec de l'eau s'avère difficile à étudier, les échantillons étant de taille et de composition spécifique très variables.

En 1992, aucun effet significatif de traitements au malathion et à la deltaméthrine sur les *Scarabaeidae* n'a pu être mis en évidence (TAB. III). Lors d'un épandage à la lambdacyhalothrine (Sollé), on a observé deux jours plus tard une réduction forte mais statistiquement non significative de 69 % des individus collectés en parcelle traitée par rapport au nombre capturé en parcelle témoin. Cet effet ne fut que temporaire car dès le relevé suivant (J+5), les effectifs ont augmenté pour évoluer ensuite parallèlement à ceux du témoin.

En 1993, un épandage du même insecticide était suivi d'une réduction de 71% statistiquement significative du nombre de *Scarabaeidae* capturés pendant au moins cinq jours (TAB. III). L'impact de la lambdacyhalothrine semble avoir été à nouveau temporaire car, dès les relevés suivants (J+12 et J+14), un phénomène de recolonisation s'amorce avec un accroissement des effectifs dans les pièges de la parcelle traitée. En ne retenant que les quatre espèces présentes à la fois dans les parcelles témoins et traitées avant le traitement, on obtient une courbe d'évolution des effectifs similaire mais où la réduction des captures post-traitement est légèrement plus faible (64 %), tout en restant significative. La découverte de nombreux cadavres le lendemain du traitement sur ce site corrobore l'existence d'une sensibilité des *Scarabaeidae* à la lambdacyhalothrine. Contrairement au cas des *Carabidae*, aucun des individus apparemment morts ou paralysés récoltés n'a récupéré dans les 48 h, au laboratoire.

Les réactions de cette famille de coléoptères en cas de traitement au pyridaphention ne peuvent être correctement étudiées faute de capture dans les pièges d'interception à eau avant le traitement.

Source : MNHN

TABLEAU III.– Effets des traitements chimiques sur trois familles de coléoptères.

Impacts of chemical treatments on three Coleoptera families.

Sites et années	Insecticide et dose (m.a./ ha)	Effet immédiat du traitement (1) Recolonisation : % et date (2) Commentaires		
		Carabidae	*Scarabaeidae*	*Tenebrionidae*
Kaïn 1992	deltaméthrine 10 g	+ 56 % forte réduction des captures en parcelle témoin	pas de capture avant traitement	pas de capture en parcelle traitée avant traitement
Sabouna 1992	deltaméthrine 10 g	+ 245 %	+ 122 % petits échantillons en parcelle témoin	- 78 % 125 % J+23 échantillons témoins très variables
Kouba 1992	malathion 625 g	-100 % (v.absolue) 100 %, J+8 pas de capture en parcelle témoin	- 30 % (v.absolue) 0 % pas de capture en parcelle témoin	+ 177 % échantillons témoins très variables
Bembéla 1992	lambdacyhalothrine 20 g	- 100 % (v.absolue) 0 % (v.absolue) pas de capture en parcelles témoins	pas de capture avant traitement	- 24 % 400 % J+11 échantillons très variables
Sollé 1992	lambdacyhalothrine 20 g	pas de capture	- 69 % 98 % J+17 réduction temporaire	- 35 % 86 % J+17 forte diminution des captures témoins en fin de période
Soulou 1993	lambdacyhalothrine 20 g	- 55 % 20 % J+28 réduction apparente due à une augmentation continue en témoin	- 71 % ** 112 % J+14 réduction temporaire	- 50 % ** 113 % J+14 recolonisation due à l'augmentation d'une seule espèce
Kouba 1993	pyridaphention 500 g	- 72 % 85 %, J+17 - 100 % pour les espèces présentes avant le traitement	pas de capture	- 76 % ** 0 % J+31 pas de recolonisation
Sissamba 1993	pyridaphention 250 g	pas de capture	pas de capture	- 35 % 107 % J+22 recolonisation complète

(1) : variation de l'abondance relative de captures réalisées en parcelle traitée immédiatement après le traitement, exprimé en % de l'abondance relative observée avant le traitement.

(2) : abondance relative maximum de captures réalisées en parcelle traitée exprimé en % de l'abondance relative observée avant le traitement.

** : réduction des effectifs statistiquement significative avec $p < 0.01$.

Pour pallier ce problème de faiblesse des échantillons, un essai de pièges d'interception appâtés à la viande a été pratiqué à la mi-septembre 1993. Il s'est avéré très concluant puisque 152 individus ont été capturés dans huit pièges laissés en place sur deux périodes successives de 2 jours et 202 autres sur une troisième période de 3 jours. Dans le même temps, les 8 pièges à eau formolée, placés à quelques mètres des premiers, n'ont pris aucun *Scarabaeidae*.

Suite à ces résultats, 10 jours plus tard, lors du premier traitement avec du pyridaphention (Kouba), 12 pièges appâtés de façon identique ont été installés. Au cours des quatre jours de relevés avant le traitement, seuls deux individus ont été capturés. Un mois plus tard, l'expérience est à nouveau tentée sur le même site qu'à la mi-septembre (Sissamba) : un seul individu a été capturé dans les 12 pièges installés pendant les deux jours précédant le traitement sur la parcelle, neuf individus deux jours après l'épandage de

Source : MNHN

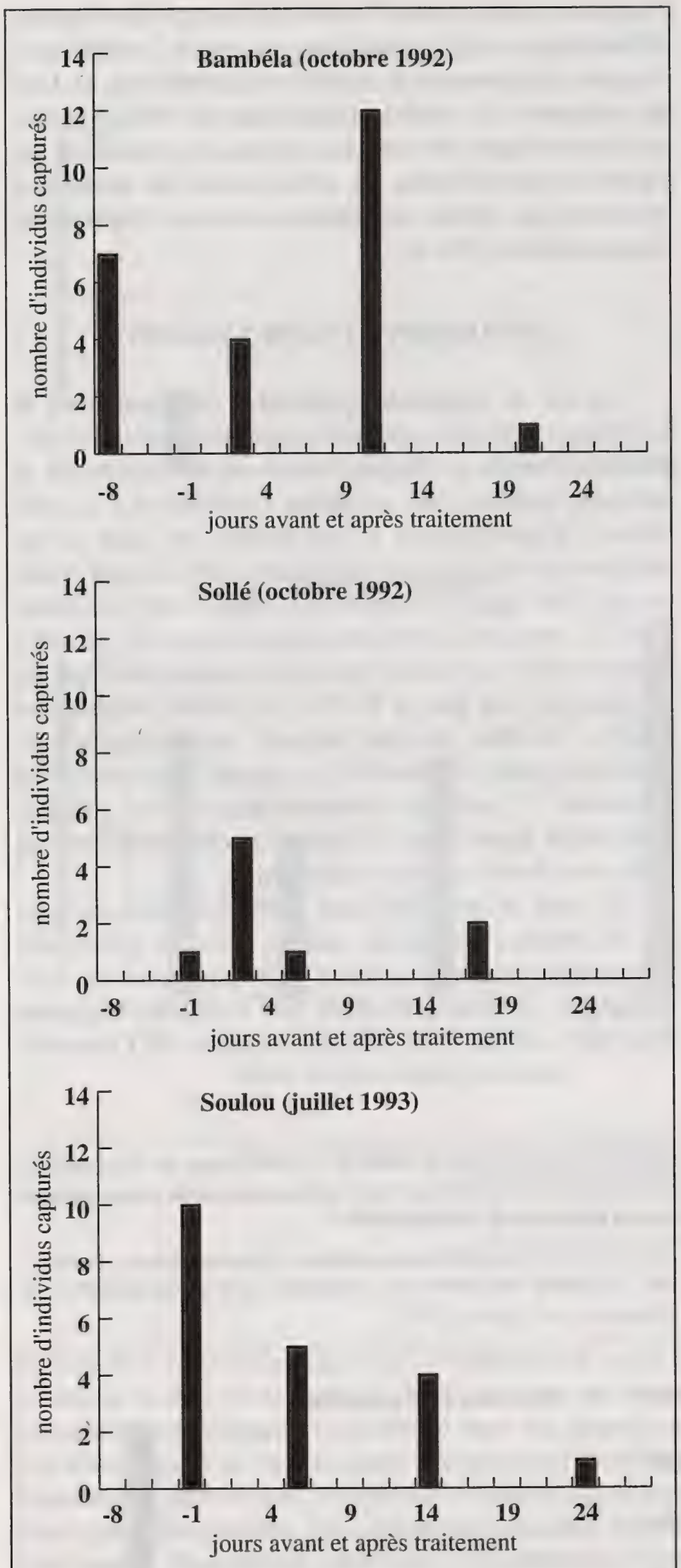


FIG. 2.– Evolution de la taille des échantillons de *Thalpophila schweinfurti (Tenebrionidae)* suite à des traitements avec 20 g m.a./ ha de lambacyhalothrine.

Variations of Thalpophila schweinfurti *(Tenebrionidae) sampling size following chemical treatments with 20 g a.i./ ha of lambdacyhalothrin.*

pyridaphention et aucun 14 jours plus tard. Ces chiffres à la fois trop faibles et trop irréguliers sont inutilisables pour analyser l'impact du pyridaphention sur les *Scarabaeidae*.

EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES TENEBRIONIDAE

La famille des *Tenebrionidae* représente 74 % des individus dans l'ensemble des échantillons récoltés avant les traitements. Elle est constituée d'une dizaine d'espèces parmi lesquelles les plus abondantes ont été identifiées. *Zophosis quadrilineata* et, en début de campagne (juillet), *Zophosis lapruni* sont particulièrement abondants sur les stations les plus sahéliennes (Kain Ouro et Sollé). Plus au sud, en conditions plus soudaniennes, on trouve essentiellement *Thalpophila schweinfurti* et *Phrynocolus dentatus* et plus occasionnellement *Vieta senegalensis*. *Pimelia cultrimargo* peut être abondant en début de saison, dans les champs de céréales (Kain Ouro et Sabouna).

En 1992, aucune diminution du nombre de captures après le traitement n'est significative (TAB. III). Dans le cas de la deltaméthrine, les *Tenebrionidae* étaient soit absents des échantillons traités (Kaïn) soit en nombres trop variables en parcelle témoin (Sabouna). Les échantillons témoins ont également beaucoup varié lors du traitement avec du malathion (Kouba) où le nombre d'insectes a alors semblé augmenter en valeurs relatives suite à l'épandage de l'insecticide. Lors des deux traitements à la lambdacyhalothrine, en fin de campagne 1992, les réductions d'effectifs en parcelles traitées étaient faibles et non significatives, les échantillons témoins étant toujours assez variables. Dans tous les cas, on a observé une augmentation des effectifs dès la deuxième décade après le traitement.

En début de campagne 1993, la même dose de lambdacyhalothrine (Soulou) a entraîné une réduction statistiquement significative, cette fois, du nombre de captures également suivie d'une recolonisation observée 14 jours plus tard. Cette dernière évolution est essentiellement due à une forte augmentation des captures d'une seule espèce, *Phrynocolus dentatus*.

L'épandage de pyridaphention a aussi provoqué, le lendemain du traitement, une réduction du nombre de captures qui n'est statistiquement significative qu'en cas de forte dose (500 g/ ha à Kouba). De plus, aucune recolonisation n'y a été observée dans les 30 jours suivants.

L'analyse de l'évolution des captures des seules espèces présentes avant le traitement en parcelles traitées et témoins, en 1993, confirme la réalité des résultats pour l'ensemble de la famille (TAB. IV) :

- Une réduction significative des effectifs de l'ensemble des espèces correspond à une diminution encore plus significative pour les seules espèces présentes avant le traitement dans toutes les parcelles

Source : MNHN

- Une réduction faible ou non significative de l'ensemble des espèces s'accompagne d'une diminution équivalente des effectifs des espèces communes à toutes les parcelles avant traitement.

Chez les *Tenebrionidae*, quelques observations ont pu être faites au niveau spécifique. Il est ainsi possible d'analyser les réactions, en fonction du traitement, de l'espèce *Thalpophila schweinfurti,* qui est présente dans six cas sur huit. Contrairement aux observations de 1992, cette espèce semble, lors du traitement de 1993, sensible à la lambdacyhalothrine. Ses individus deviennent rares dès le lendemain du traitement et ne reviennent pas dans les 28 jours qui suivent (FIG. 2). Dans le cas des traitements au pyridaphention (1993), cette espèce montre clairement l'importance de la dose d'insecticide puisqu'elle disparaît définitivement des échantillons en cas de forte dose et récupère rapidement si le dosage est normal (FIG. 3). Lors du traitement à la lambdacyhalothrine de 1993 (Soulou), on a observé que *Phrynocolus dentatus* ne diminuait pas significativement dans les échantillons de même que *Oncosoma sp.* tandis que *Zophosis lapruni* disparaissait temporairement (FIG. 4).

TABLEAU IV.– Abondance relative moyenne des captures en parcelles traitées, exprimée en % de l'abondance relative observée avant le traitement pour l'ensemble des espèces de *Tenebrionidae* ou pour les seules espèces présentes avant le traitement dans toutes les parcelles (espèces communes).

Relative number of Tenebrionidae collected in treated sampling plots, expressed as a % of relative number of Tenebrionidae catched before spraying considering all species or only those collected before treatment in all sampling plots.

Sites Insecticide et dose	Jours après traitement	Ensemble des espèces	Espèces communes
Soulou	J+5	50,0 %	46,0 %
lambdacyhalothrine	J+14	113,0 %	121,0 %
(20 g m.a./ ha)	J+28	86,0 %	77,0 %
Kouba	J+5	24,0 % **	11,0 % **
pyridaphention	J+17	6,3 % **	2,5 % **
(500 g m.a./ ha)	J+31	2,6 % **	0,0 % **
Sissamba	J+3	65,0 %	87,0 %
pyridaphention	J+14	78,0 %	90,0 %
(250 g m.a./ ha)	J+22	107,0 %	122,0 %

** : réduction des effectifs statistiquement significative avec $p < 0,01$.

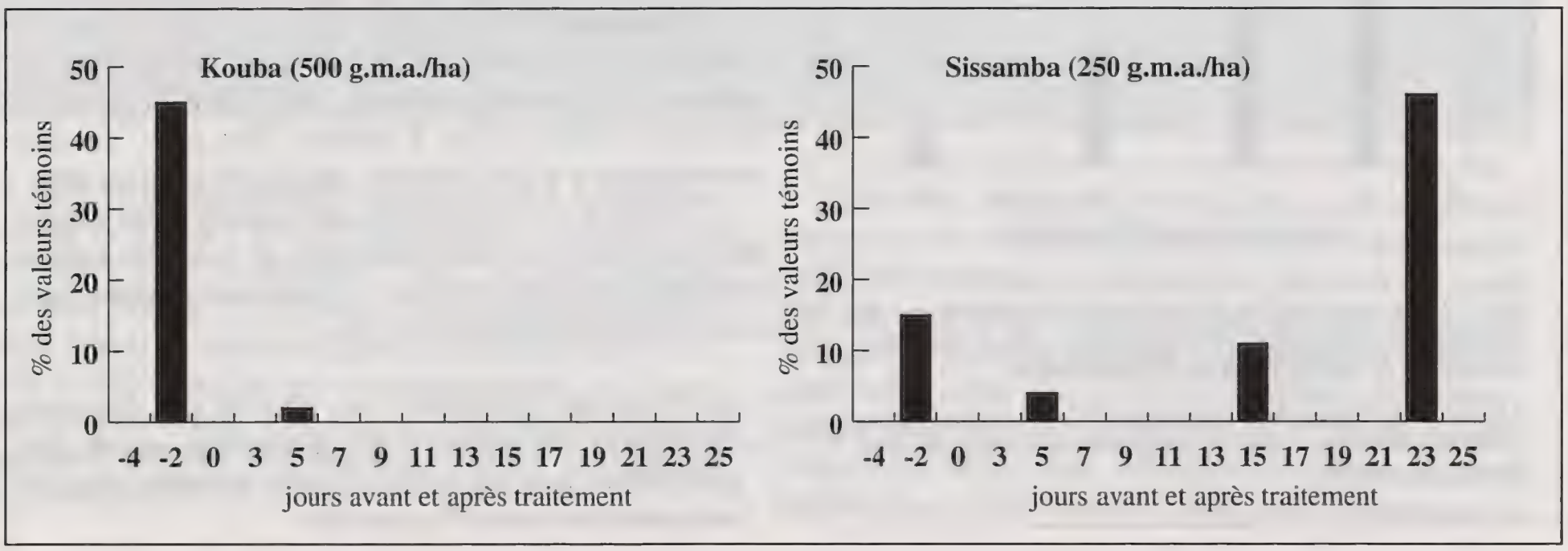
DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Les cas de réduction significative de populations de coléoptères terrestres suite aux traitements chimiques anti-acridiens étudiés au Burkina Faso sont peu nombreux et rarement durables. On remarque cependant qu'un problème d'échantillonnage a joué puisque les seuls cas de réduction statistiquement significative ont tous été observés en 1993 quand le nombre de relevés a été fortement accru. L'absence de réduction significative des effectifs traités en 1992 ne montre donc pas nécessairement que les insecticides n'ont pas eu d'effet. En valeurs absolues, on observe, en effet, presque toujours, une diminution au moins temporaire du nombre de captures le lendemain du traitement. Ce problème méthodologique ne se pose pas de la même façon selon la famille de coléoptères, comme on le verra dans la suite de la discussion.

En dépit de cette difficulté méthodologique, on a vu que la lambdacyhalothrine semble toujours provoquer, temporairement, une certaine mortalité pour les trois familles de coléoptères étudiées. Elle n'est statistiquement significative qu'en 1993 en partie en raison de l'intensifi-

FIG. 3.– Evolution de la taille des échantillons de *Thalpophila schweinfurti (Tenebrionidae)* suite à deux traitements au pyridaphention en septembre et octobre 1993.

Variations of Thalpophila schweinfurti (Tenebrionidae) *samplings size following two chemical treatments with pyridaphention in September and October 1993.*



Source : MNHN

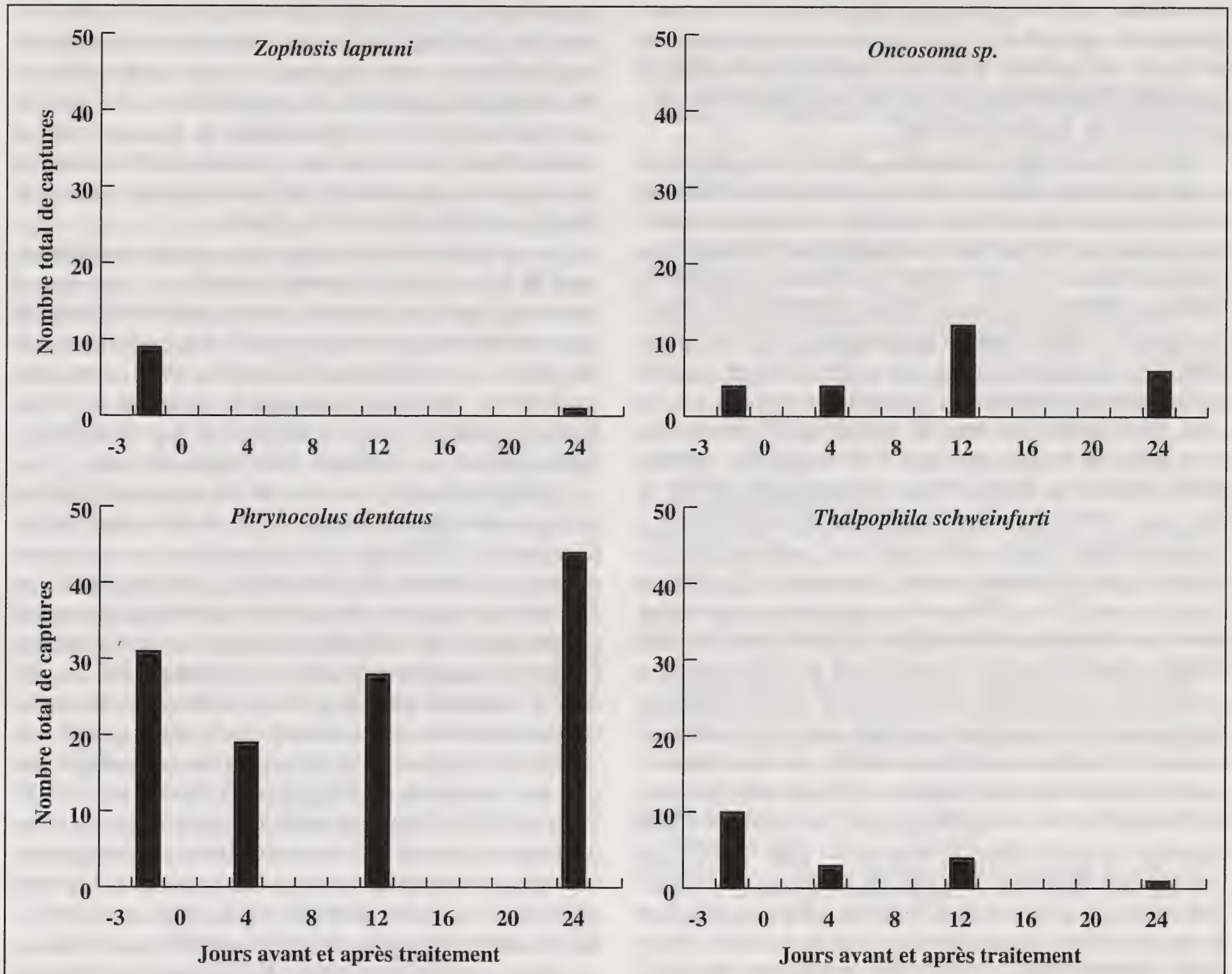


FIG. 4.– Evolution de la taille des échantillons de quatre espèces de *Tenebrionidae* lors d'un traitement à la lambdacyhalothrine (20 g m. a./ha) en juillet 1993.

Variations of four Tenebrionids species sampling size following a chemical treatment with 20 g a.i./ ha of lambdacyhalothrin, in July 1993.

cation de l'échantillonnage mais probablement aussi à cause de la date du traitement. Situé en début de saison des plùies, ce traitement a été réalisé dans des champs où les jeunes plants de mil laissaient une large part de sol nu, directement exposé aux gouttelettes d'insecticide, accentuant ainsi l'exposition des coléoptères terrestres. Le cas de l'espèce *Thalpophila schweinfurti* (*Tenebrionidae*) qui ne disparaît des échantillons traités à la lambdacyhalothrine qu'en 1993, est exemplaire à cet égard.

Les cas de traitement au pyridaphention montrent combien la dose épandue est importante pour la survie à moyen terme des insectes non-cibles (*Tenebrionidae* et certaines espèces de *Carabidae*) qui disparaissent totalement des échantillons pour au moins 30 jours, en cas de forte dose. En pratique, cela signifie que toute mesure visant à réduire les doses d'insecticides employées sera bénéfique aux coléoptères.

Bien qu'agissant tous sur le système nerveux des insectes, les insecticides de la famille des pyréthrinoïdes (comme la deltaméthrine et la lambdacyhalothrine) n'ont pas le même mode d'action que les organophosphorés (malathion et pyridaphention). Les premiers agissent sur le transport ionique. Nos données confirment que ce processus produit un effet de choc très puissant qui s'est traduit par la découverte de très nombreux insectes morts ou mourants dans les heures qui ont suivi les traitements avec la deltaméthrine et surtout avec la lambdacyhalothrine. Dans un des cas nous avons pu également observer que ce

Source : MNHN

phénomène peut être réversible. La majorité des organophosphorés agissent eux sur la transmission synaptique en se fixant sur les sites actifs de l'acéthylcholinestérase, phénomène réputé moins brutal mais néanmoins très efficace du fait de son irréversibilité.

Dans le cas des *Carabidae*, grâce entre autres au grand nombre de cadavres trouvés le lendemain d'un traitement, on a vu que ce taxon peut être affecté par la lambdacyhalothrine. Il l'est parfois durablement comme l'ont constaté BROWN *et al.*, (1988) en milieu tempéré ou FISKVATN (1993) lors d'essais à plus faibles doses au Mali. INGLESFIELD (1989) rappelle également que face aux pyréthrinoïdes, les *Carabidae* peuvent réagir de façon variable en fonction de l'espèce. La réaction des insectes est, en effet, fonction de la quantité de matière active rencontrée, c'est-à-dire de la dose épandue et de la quantité récoltée par les insectes au cours de leurs déplacements (JEPSON & THACKER 1990). Les *Carabidae* sont tous prédateurs ; l'exposition de chaque espèce peut donc varier en fonction de son type de comportement (chasseurs à l'affût ou chasse active). Une différence de composition spécifique entre les échantillons de cadavres récoltés au sol et ceux collectés dans les pièges explique donc peut-être pourquoi aucun effet significatif du traitement n'est visible au niveau des relevés par piégeage. Une analyse des effets au niveau de l'espèce et non de la famille est donc toujours recommandée. Certaines espèces de *Carabidae* peuvent être sensibles aux insecticides mais la famille est peu abondante dans les pièges et donc moins aisée à étudier en tant que bio-indicateur. Son rôle de prédateur est intéressant même s'il est souvent difficile de relier une réduction de ses populations à, par exemple, un accroissement de ses proies (BROWN *et al.*, 1988) et par conséquent de quantifier le phénomène en termes de perturbation des relations trophiques dans un milieu donné. En outre, la relation entre proies et prédateurs chez les *Carabidae* ne s'exprime pas immédiatement car ces insectes sont capables de jeûner pendant de longues périodes.

Pour les *Scarabaeidae*, seuls les épandages de lambdacyhalothrine ont entraîné une réduction temporaire du nombre d'individus récoltés dans les pièges d'interception. Cette observation n'est statistiquement significative que lors de l'échantillonnage plus intensif du début de saison de 1993. Dans tous les autres cas, la variabilité et la faiblesse de taille des échantillons dans les pièges d'interception ne permettent pas de conclusions fiables. Les informations sur ce taxon par rapport aux traitements chimiques antiacridiens en Afrique de l'Ouest sont d'ailleurs rares. KEITH *et al.*, (1992) signalent seulement la présence de cadavres suite à des traitements au malathion tandis que JOHANNESSEN (1991) mentionne la faiblesse des échantillons lors d'expériences avec le fénitrothion.

L'utilisation de pièges appâtés n'a pas donné les résultats que promettait l'expérience préliminaire de la mi-septembre 1993. La quasi-absence de captures dans ce type de pièges lors d'expériences postérieures réalisées sur le même site, au cours du mois d'octobre, laisse supposer une diminution naturelle des populations ou de l'activité de ce taxon, avec l'installation rapide de la saison sèche, à cette période. Si c'est le cas, on peut supposer que les *Scarabaeidae* sont ainsi à l'abri des effets de traitements chimiques en fin de saison des pluies.

Le peuplement de *Scarabaeidae*, quoique non directement lié à la végétation, possède en effet un cycle annuel bien net qui peut suivre une évolution semblable à celle de la pluviosité, en particulier lorsqu'il n'y a qu'une saison des pluies. CAMBEFORT (1983) montre ainsi qu'en zone soudanienne, il existe un optimum de pluviosité en dehors duquel beaucoup d'adultes meurent et leur descendance enfouie dans le sol n'apparaît que l'année suivante.

L'abondance des *Scarabaeidae* est également fonction de la quantité d'excréments ou de déchets disponibles (CAMBEFORT 1983) qui sont recherchés au cours de vols nocturnes ou diurnes (WALTER 1978, CAMBEFORT 1983). Les *Scarabaeidae* des sites de traitement au Burkina pouvaient en effet beaucoup se déplacer puisque lors des piégeages expérimentaux appâtés du mois de septembre 1993, un seul des 127 individus marqués a été repris parmi les 202 capturés durant les trois jours suivants. Les pièges appâtés à la viande attirent plus particulièrement les nécrophages qui sont peu abondants en Afrique selon CAMBEFORT (1983). WALTER (1978) signale en outre que dans le cas de zones d'élevage de bovins en savane du Zaïre, certains groupes coprophages abondants semblent très spécialisés. Tout ceci explique mieux la forte variabilité et la faiblesse des échantillons, même lorsque les pièges sont appâtés à la viande.

Il est donc indispensable d'optimiser les méthodes d'échantillonnage comme l'a fait LUMARET (1986) afin de capturer plus efficacement, notamment, les coprophages, et de mieux comprendre ainsi les réactions de ce groupe en cas de traitements chimiques antiacridiens. L'importance de cette faune dans la fertilisation des sols est en effet fondamentale en savane (CAMBEFORT 1983) et dans les régions agro-pastorales sahéliennes et sahélo-soudaniennes. La présence de *Scarabaeidae* entraîne une augmentation notable de la teneur du sol en carbone organique, en azote, en phosphore, en bases échangeables et en acide humique (ROUGON 1987).

La famille des *Tenebrionidae* est bien représentée dans l'ensemble des échantillons, en particulier dans le cas des stations les plus sahéliennes. En milieu saharien, cette famille constitue pour PEVELING *et al.*, (1994) 41 % à 53 % des captures de coléoptères. Dans la savane du Ferlo au Sénégal, GILLON & GILLON (1974) estiment la biomasse de ce taxon à 19 % des arthropodes en janvier et à 58 % en juillet tandis que dans le désert américain, CRAWFORD (1991) signale des densités de 100 000 individus/ha soit 190 kg/ ha.

Source : MNHN

Certaines espèces de cette famille sont sensibles aux insecticides, en particulier avec les organophosphorés utilisés à des doses plus fortes que celles généralement employées contre les sauteriaux. KEITH *et al.*, (1992) ont récolté beaucoup de cadavres après une pulvérisation de malathion à 750 g/ ha alors que rien de semblable n'a été observé au Burkina à 625 g/ ha. Comme dans le cas du pyridaphention au Burkina Faso en 1993, VAN DER VALK (1990) n'a observé une réduction significative et de longue durée des captures de ce taxon que lors d'un épandage de fénithrothion à 850 g/ ha et non à la moitié de cette dose. Avec des doses inférieures à 200 g/ ha, JOHANNESSEN (1991) voit le nombre de *Tenebrionidae* augmenter dans ses pièges après un traitement avec ce dernier insecticide.

On a vu que les réactions aux insecticides peuvent aussi varier d'une espèce à l'autre chez les *Tenebrionidae*. Un accroissement substantiel des connaissances, actuellement très limitées, sur la biologie des espèces (cycle, proies, comportement...) identifiées ici aiderait à mieux comprendre leurs réactions face aux traitements et l'importance de leur rôle dans l'écologie des milieux impliqués par la lutte antiacridienne. La sensibilité de chaque espèce peut aussi varier selon l'époque de l'année comme le notent VAN DER VALK (1990) et DANFA & VAN DER VALK (1993). L'état physiologique des insectes peut être différent avant ou après le pic des pluies (DANFA & VAN DER VALK 1993), lesquelles permettent en outre le développement d'un couvert herbacé suffisant pour abriter les insectes vivant sur le sol, comme on l'a constaté dans le cas de la lambdacyhalothrine au Burkina Faso.

A propos de la famille des *Tenebrionidae*, il faut enfin signaler un problème d'échantillonnage lié à l'augmentation de l'intensité des relevés. On a en effet constaté une forte réduction du nombre des individus collectés dans les pièges avec de l'eau lors du second relevé avant traitement à Kouba, en 1993. Cela peut s'expliquer en partie par un excès de mortalité dû au piégeage. Les pièges avec de l'eau ont été posés dans un milieu déjà très sec, attirant ainsi un grand nombre de *Tenebrionidae* qui ont donc été éliminés. La rapidité de réaction à la présence d'humidité chez ces insectes en milieu sec est en effet connue (THOMAS 1979, JOHANNESSEN 1991, KEITH *et al.*, 1992). PEVELING *et al.*, (1994) signalent aussi l'importance du vent sur l'efficacité de piégeage des *Tenebrionidae*, obligeant à toujours effectuer les relevés, simultanément, en parcelles traitées et témoins.

Des méthodes de récolte non-destructrices et standardisées doivent donc être employées pour éviter ces effets de piégeage, pour augmenter la taille et le nombre des échantillons et pour étudier ainsi certaines espèces plus sensibles où ayant un rôle particulier. Les *Tenebrionidae* peuvent en effet être de bons indicateurs des effets des traitements chimiques sur la faune non-cible car ils sont abondants et jouent un rôle en tant qu'auxiliaires de l'agriculture.

BIBLIOGRAPHIE

BROWN, R.A., WHITE, J.S. & EVERETT, C.J., 1988.– How does an automn applied pyrethroid affect the terrestrial arthropod community. *In :* GREAVES, M.P., SMITH, B.D. & GREIG-SMITH, P.W. (Eds.). *Field methods for the study of environmental effects of pesticides*. BCPC PUBLICATIONS, England, 40 : 137-145.

CAMBEFORT, Y., 1983.– *Etude écologique des coléoptères Scarabaeidae de Côte d'Ivoire*. Thèse de Doctorat d'État, Université Pierre et Marie Curie (Paris) : 294 p.

CRAWFORD, C.S., 1991.– The community ecology of macroarthropod detritivorous. *In* : POLIS G.A. (Ed.).*The ecology of desert communities*. University of Arizona press, Tucson : 89-112.

DANFA, A. & VAN DER VALK, H., 1993.– *Tests de toxicité du fénitrothion sur Pimelia senegalensis et Trachyderma hispida (Coleoptera, Tenebrionidae)*. FAO projet Eclo/Sen/003/Net : "Locustox", Min.agriculture, Dir. prot. des vegétaux, Dakar : 13 p.

EVERTS, J.W. (Ed.), 1990.– *Project Report. Environmental effects of chemical locust and grasshopper control, a pilot study*. Project ECLO/SEN/003/NET, FAO, Rome : 277p.

FISKVATN, K., 1993.– *Reduced dosage of synthetic pyretroid lambdacyhalothrin, and their effect on grasshoppers and non-target arthropods in Mali*. Thesis in Ecology - Universitet i Oslo, Biologisk institutt : 45p.

GILLON, D. & GILLON, Y., 1974.– Recherche écologique sur une savane sahélienne du Ferlo septentrional au Sénégal : données quantitatives sur les Tenebrionidés. *Terre & Vie*, 28 : 296-306.

GREATHEAD, D.J., KOOYMAN, C., LAUNOIS-LUONG, M.H. & POPOV, G.B., 1994.– *Les ennemis naturels des criquets du Sahel*. Coll. Acridologie opérationnelle 8, Ministère des Affaires étrangères des Pays-Bas & CIRAD-GERDAT-PRIFAS, Montpellier : 147p.

INGLESFIELD, C., 1989.– Pyrethroids and terrestrial non-target organisms. *Pestic. Sci.*, 27 : 387-428.

JEPSON, P.J., 1988.– Ecological characteristics and the susceptibility of non-target invertebrates to long term pesticide side effects.*In* : GREAVES M.P., SMITH B.D. & GREIG-SMITH P.W. (Eds.). *Field methods for the study of environmental effects of pesticides*. Proc. of a Symposium (Cambridge) The British Crop Council (UK), 40 : 191-198.

JEPSON, P.J. & TACKER, J.R.M., 1990.– Analysis of the spatial component of pesticide side-effects invertebrate populations and its relevance to hasard analysis. *Functional ecology*, 4 : 349-355.

JEPSON, P.J. & SHERRATT, T.N., 1991.– Predicting long-term impact of pesticides on predatory invertebrates. *In : Brighton Crop protection conference - Weeds*. BPCP Publications Thornton Heath, Surrey (UK) : 911-919.

JOHANNESSEN, B., 1991.– *Reduced dosages of fenitrothion applied against grasshoppers (Acrididae) and short-term effects on non-target arthropods in Mali*. Thesis, University of Oslo, Departement of Biology : 54p.

KEITH, J.O. (Ed), 1992.– *Research report : Effects of experimental application of malathion and dichlorvos on populations of birds, mammals and insects in southern Morocco*. Morocco Locust project, US Government : Dept. of Agriculture, Env. Prot. Agency, Government of Morocco - Min.of Agriculture and Agrarian reform, Min. of Interior : 82p.

LAHR, J., 1990.– Invertebrates. *In :* EVERTS J.W. (Ed.). *Project Report. Environmental effects of chemical locust and grasshopper control, a pilot study*. Project ECLO/SEN/003/NET, FAO, Rome : 65-94.

LAHR, J. & DIALLO, A.O., 1993.– *Effets du fénitrothion et du diflubenzuron en lutte expériementale contre les criquets sur les invertébrés aquatiques des mares temporaires du centre du*

Source : MNHN

Sénégal. FAO projet Eclo/Sen/003/Net : "Locustox", Min.agriculture, Dir. prot. des vegétaux, Dakar : 49 p.

LUMARET, J.P., 1986.– Toxicité de certains helminthicides vis à vis des insectes coprophages et conséquences sur la disparition des excréments de la surface du sol. *Acta Œcologica, Œcol. Applicata.*,7 : 313-324.

MURPHY, C.F., JEPSON, P.J. & CROFT, B.A., 1994.– Database analysis of the toxicity of antilocust pesticides to non-target, beneficial invertebrates. *Crop Protection*, 13 : 413-420.

NIASSY, A., BEYE, A. & VAN DER VALK, H., 1993.– *Impact des applications de fénitrothion sur la mortalité naturelle des oothèques de sauteriaux au Sénégal (traitements de 1991).* FAO, Projet Eclo/Sen/003/Net : "Locustox", Min. Agriculture Dir. prot. des végétaux, Dakar : 17p.

OTTESEN, P., FOSSLAND, S., JOHANNESSEN, B. & SIMONSEN, J.H., 1989.– *Taux réduits de fénitrothion : l'effet sur Oedaleus senegalensis (Orthoptera) et sur les arthropodes non-visés au Mali, Afrique de l'Ouest.* Rapport destiné au Ministère Royal Norvégien de la Coopération au Développement, Université d'Oslo, Institut de Biologie : 17p.

PEVELING, R., WEYRICH, J. & MÜLLER, P., 1994.– Side-effects of botanical, insect growth regulators and entomopathogenic fungi on epigeal non-target arthropods in locust control. *In : New trends in Locust control.* GTZ (Eschborn) : 147-176.

ROUGON, D., 1987.– *Coléoptères coprophiles en zone sahélienne : étude biocénotique, comportement nidificateur, intervention dans le recyclage de la matière organique du sol.* Thèse de Doctorat d'État - Université d'Orléans (Fac. des Sciences) : 324 p.

THOMAS, D.B., 1979.– *Patterns in the abundance of some Tenebrionid beettles in the Mojave desert.* Environ. Entomol., 8 : 568-574.

VAN DER VALK H., 1990.– Beneficial arthropods. *In* : EVERTS J.W. (Ed.). *Project Report. Environmental effects of chemical locust and grasshopper control, a pilot study.* Project ECLO/SEN/003/NET, FAO, Rome : 171-225.

WALTER, P., 1978.– *Recherches écologiques et biologiques sur les Scarabéidés coprophages d'une savane du Zaïre.* Thèse de Doctorat d'État - Université des Sciences et des Techniques du Languedoc, Montpellier : 366 p.

ENGLISH ABRIDGED VERSION

The effects of chemical control treatments on terrestrial Coleoptera, particularly auxiliary organisms, has been the focus of many studies in temperate regions. MURPHY *et al.,* (1994) listed 896 laboratory and field studies assessing the effects of four common locust control pesticides (malathion, fenitrothion, chlorpyriphos and deltamethrine) on Coleoptera. This taxon was found to be highly susceptible (more than 90 % mortality) in 36-68 % (depending on the pesticide) of the situations studied.

Coleoptera are often investigated because they are commonly found in large numbers, and many are beneficial organisms for agriculture – i.e. they can be predatorial, detritivorous, necrophagous and coprophagous.

However, it is often difficult to carry out field studies on Coleoptera, especially in the tropics, because of technical problems :

- high specific diversity and sample-sizes that are too small for valid statistical analyses,
- heterogenic treatment conditions, during very short rainy seasons that can vary between years, thus inducing high between-sample variability,
- lack of information on the biology of the main species (life cycle, habitat), and even on their taxonomy,
- high interspecific variability in pesticide tolerance within the same taxonomic family.

This article presents results obtained in Burkina Faso on the effects of chemical grasshopper control treatments on non-target Coleoptera. Deltamethrin, lambdacyhalothrin, malathion and pyridaphention were tested on 15-300 ha plots.

Lambdacyhalothrin seemed to temporarily induce mortality in the three Coleoptera families studied. This effect was statistically significant in 1993, partly because of the intensified sampling, but also probably due to the date of treatment. This treatment was conducted at the onset of the rainy season in fields cropped with young millet plants. Much of the ground was then bare, which meant that it was not protected from droplets of pesticide, thus increasing the exposure of terrestrial beetles. This effect of a lack of vegetation cover was confirmed by the fact that *Thalpophila schweinfurti* (Tenebrionidae) only disappeared from the lambdacyhalothrin-treated samples in 1993.

The pyridaphention treatment demonstrated that the treatment dose is important for the medium-term survival of non-target insects (Tenebrionidae, and some Carabidae species), which disappeared from the samples for at least 30 days after high-dose treatments. In practice, all measures aimed at reducing pesticide treatment doses will thus be beneficial for the Coleoptera fauna.

Only the lambdacyhalothrin treatments led to a temporary reduction in the number of Scarabaeidae beetles collected in the insect traps. This result was only statistically significant after the more intensive sampling at the onset of the 1993 season. In all other cases, no reliable conclusions could be drawn because of the variability and low number of insects collected in the traps.

The use of traps baited with meat did not give satisfactory results, despite the promising results of a preliminary test in mid-September 1993. The fact that almost no beetles were captured in bait traps in tests conducted later (during October) on the same site, or a very similar site, suggests a natural reduction in beetle numbers or in the activities of this taxon – as the dry season sets in rapidly at this time.

Some Tenebrionidae species showed high pesticide-susceptibility, especially to organophosphorous compounds used at higher doses than generally used in grasshopper control treatments ; the levels of susceptibility varied between Tenebrionidae species.

There is currently very little available biological information on the beetle species monitored in this study. It is quite likely that a substantial increase in such knowledge would shed light on the reactions of beetles to pesticide treatments and their importance in ecosystems affected by locust control.

The Tenebrionidae study highlighted, also, a problem associated with a sampling increase. A marked reduction in the number of beetles collected in water traps was noted at the second sampling before treatment. This could be partially explained by an excess increase in mortality due to trapping. The water traps were set in very dry habitats - attracting a high number of Tenebrionidae beetles which were thus eliminated before treatment.

Non-destructive standard collection techniques should be used to avoid trapping effects and increase the number of samples and sizes, therefore facilitating the study of some highly susceptible species or others with a special environmental role. Tenebrionidae could actually be good indicators for the impact of chemical treatments on non-target fauna, since they are one of the most abundant families among beneficial organisms for agriculture.

Source : MNHN

INSTRUCTIONS TO AUTHORS

Ecologie, the journal of the Société Française d'Ecologie, publishes works in all fields of ecology, basic or applied. Manuscripts should be written preferentially in French or English. The journal publishes also thesis abstracts and forum, that is section of opinion exchanges and scientific proceedings.

Printed texts should not exceed 10 pages including figures, tables, bibliography and appendix. However, synthesis papers could up to 15 printed pages. Exceptionally, longer manuscripts could be considered. Texts for thesis abstracts or forum should not exceed 2 printed pages, possibly with some figures and no references.

Manuscripts are submitted in triplicate (original manuscript plus 2 copies of text, figures, tables and appendix) in final form. They should be typed, double spaced, on one side of the A4 size paper (21 x 29.7 cm) with margin of 5 cm. Manuscripts should be divided into the following sequence :

- the title
- surname of author(s) and their full name
- full address or different addresses if necessary
- an abstract of up to 800 signs written in French and English (it should be mentioned if it is an original or perfecting work)
- the title written in the opposite language than the one used for the text
- an abridged version up to 5,000 signs written in the opposite language
- the key words written in French and English
- a running title of up to 40 signs written in the opposite language
- main text with evident subtitles and paragraphs, and mentioning into the margin, written in pencil, passages that can be printed in small types. No other typographic indication must be mentioned, excepted Latin name of organisms simple underlined, and the author's surnames double underlined. Author's surnames are typed in small letters.

Tables should be numbered in Roman numerals and should be ready for use as a plate by the printer, if necessary. Legends are written in French and English and are typed sequentially on a separate sheet.

Illustrations, drawings and photographs, are numbered in Arabic numerals and are made according to the journal format, anticipating reduction possibilities, especially concerning letters, numerals and symbols. Only original drawings are considered. Illustrations should not exceed format 40 x 30 cm and should be sent in flat form. Authors indicate in pencil the reduction percentage and number wanted for each illustration. Legends are written in French and English and are typed sequentially on a separate sheet.

The bibliography is presented as follows :

CHITTY, D., PIMENTEL, D. & KREBS, C.J., 1968.— Food supply of overwintering voles. *J. Anim. Ecol.*, 37 : 113-120.

ARTHUR, W., 1987.— *The niche in competition and evolution.* Wiley and Sons, Chichester : 175 p.

GARAY, I. & NATAF, L., 1982.— Microarthropods as indicators of human trampling in suburban forests. *In*: BORNKAMM, R., LEE, J.A. & SEAWARD, M.R.D. (eds), *Urban Ecology*, Blackwell Scientific Publications, Oxford : 201-207.

CLEMENT, B., 1987.— *Structure et dynamique des communautés et des populations végétales des landes bretonnes.* Thèse de Doctorat ès Sciences, Université de Rennes 1 : 320 p.

Manuscripts stored on computer (MS DOS or MACINTOSH) should be saved under ASCII form or with any standard word processing software. Mac Draw (Pict) or Illustrator (EPS) can be used for drawings. Authors should not submit texts saved under paginator and should not use 5"1/4 HD disks.

Any papers not conformed to journal standards will be returned to authors. Manuscripts are submitted to two reviewers at least. Reviewing is about one month. Authors must answer to the comments of reviewers on a separate sheet. When the paper may be published after major revision, the corrected version is submitted to the reviewer again

Authors will receive only one set of proofs for checking. Proofs must be returned to the publisher within 8 days, including reprint's order (no reprints are sent free of charge to authors). If papers are not returned within the delay of 8 days, the publisher will check proofs and then no reprint could be ordered. Only typographic details should be corrected. Other corrections will not be considered. Any modification or addition will be charged to authors. Authors are required to bear the cost of photograph plates and to order them with reprint's order.

Thesis abstracts are typed mentioning in the following sequence : Author's surname and name, the title of thesis, the number of pages, kind of thesis, University, the day of thesis's defence, board members. Proofs of thesis abstracts are checked by the publisher. Texts for forum are directly published. However, the publisher keeps the right to recommend to authors some modifications that seem needed.

Source : MNHN

INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

Écologie, revue scientifique de la Société Française d'Écologie, publie des travaux dans tous les domaines de l'écologie, aussi bien fondamentale qu'appliquée. Les articles sont rédigés de préférence en français ou en anglais. La revue publie aussi des résumés de thèse ainsi qu'une tribune libre, lieu d'échange d'opinions et de débats scientifiques.
La longueur d'un article, une fois imprimé, ne doit pas excéder 10 pages, figures, tableaux, bibliographie et annexes compris. Toutefois, dans le cas d'articles de synthèse, la longueur pourra atteindre 15 pages imprimées, tout compris. Exceptionnellement, des articles plus longs pourront être pris en considération. Les textes proposés pour la Tribune ne devront pas excéder l'équivalent de 2 pages imprimées, tout compris. Les résumés de thèses devront tenir en 2 pages imprimées, y compris d'éventuelles figures ; ils ne devront pas comporter de bibliographie.

Les manuscrits des articles seront fournis en 3 exemplaires (original + 2 copies du texte, des figures, tableaux et annexes) sous leur forme définitive. Ils devront être entièrement dactylographiés au recto de feuilles 21 x 29,7 cm avec double interligne et marge de 5 cm. Ils devront comprendre, dans l'ordre :
• Le titre ;
• Les noms du ou des auteurs avec les prénoms en toutes lettres ;
• L'adresse complète, ou les différentes adresses si nécessaire ;
• Un résumé en français et un « abstract » en anglais de 800 signes chacun, au plus. Il devra être indiqué si l'article correspond à un travail original ou à une mise au point ;
• La traduction en anglais du titre, ou sa traduction en français si l'article est écrit en anglais ;
• Une version abrégée de 5000 signes, en anglais si l'article est en français et inversement.
• Les mots-clés en français et les « key-words », en anglais ;
• Une proposition de titre courant, en français ou en anglais, selon le cas, ne dépassant pas une quarantaine de signes ;
• Le texte proprement dit, avec mise en évidence des sous-titres et paragraphes et mention dans la marge, au crayon, des passages pouvant être composés en petits caractères. Aucune autre indication typographique ne devra être mentionnée, à l'exception des noms latins des organismes, soulignés d'un trait, et des noms d'auteurs, soulignés de deux traits. Les noms d'auteur seront écrits en minuscules.
Les tableaux, numérotés en chiffres romains, seront conçus pour pouvoir être clichés directement par l'imprimeur, le cas échéant. Les légendes seront fournies en français et en anglais. Elles seront dactylographiées sur des feuilles distinctes, à la suite.

L'illustration, dessins et photographies, sera numérotée en chiffres arabes. Elle devra être conçue en tenant compte du format de la revue, en prévoyant des possibilités suffisantes de réduction, notamment en ce qui concerne les lettres, chiffres et symboles. Seuls les dessins originaux seront acceptés. Les illustrations ne devront pas dépasser le format 40 x 30 cm et être expédiées à plat, non enroulées. La réduction souhaitée pour chacune d'elle sera indiquée au crayon, ainsi que la numérotation. Les légendes seront fournies en français et en anglais. Elles seront dactylographiées sur des feuilles séparées, à la suite.

La bibliographie sera présentée conformément aux modèles suivants :

CHITTY, D., PIMENTEL, D. & KREBS, C.J., 1968.– Food supply of overwintering voles. *J. Anim. Ecol.,* 37 : 113-120.

ARTHUR, W., 1987.— *The niche in competition and evolution.* Wiley and Sons, Chichester : 175 p.

GARAY, I. & NATAF, L., 1982.– Microarthropods as indicators of human trampling in suburban forests. *In* : BORNKAMM, R., LEE, J.A. & SEAWARD, M.R.D. (eds), *Urban Ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford : 201-207.

CLÉMENT, B., 1987.– *Structure et dynamique des communautés et des populations végétales des landes bretonnes*. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université de Rennes 1 : 320 p.

Les articles saisis sur micro-ordinateur (MS.DOS ™ ou MACINTOSH™) devront être enregistrés en ASCII ou sous un traitement de texte classique. Les illustrations de type Mac Draw™ (format Pict) ou Illustrator™ (format EPS) peuvent être utilisées.
Ne pas envoyer de texte sous paginateur ni de disquettes 5'1/4 ***de type HD****.*

Tous les manuscrits qui ne répondront pas aux normes ci-dessus seront retournés à leurs auteurs. Les manuscrits admis sont soumis à un minimum de deux lecteurs. La durée de l'analyse demandée est fixée à un mois. Il est demandé aux auteurs de répondre explicitement aux commentaires sur feuille séparée. Dans le cas où un lecteur a demandé une révision majeure, la version révisée de l'article lui est soumise pour vérification.

Les auteurs recevront un seul jeu d'épreuves pour correction. Elles devront être retournées à la Rédaction dans un délai de huit jours, accompagnées de la commande de tirés-à-part (il n'est pas fourni de tirés-à-part gratuits). Faute d'un retour dans ce délai, la Rédaction procédera à la correction des épreuves et il ne sera pas commandé de tirés-à-part. Seules les erreurs typographiques devront être corrigées ; aucune correction d'auteur ne sera acceptée. En tout état de cause, toute modification (ou addition) sera facturée à l'auteur. Les frais de clichage des photographies sont à la charge de l'auteur (le cas échéant, en spécifier la commande en même temps que celle des tirés-à-part).
Les résumés de thèses devront être dactylographiés en indiquant, dans l'ordre : le nom et le prénom de l'auteur, le titre de la thèse, son nombre de pages, le type de thèse, l'Université, la date de soutenance, la composition du jury. Les épreuves des résumés de thèses sont corrigées par la Rédaction.

Les textes proposés pour la Tribune sont en principe publiés directement. Toutefois, la Rédaction se réserve le droit de conseiller aux auteurs les améliorations qui lui semblent nécessaires.

Adhésion à la Société Française d'Écologie/Price for SFE Members (Exclusively)

	Cotisation & Lettre de la S.F.E.	Cotisation & Lettre SFE + Ecologie
FRANCE & C.E.E	200,00 F	450,00 F
ETRANGER hors CEE	200,00 F	500,00 F
Étudiants, Stagiaires étrangers	50,00 F	190,00 F

Abonnement 1995 à Ecologie Vol. 26 (1) au Vol. 26 (4)

Numéro de Commission Paritaire : 50062

Tous nos tarifs s'entendent en ***francs français, frais de port inclus.***
Subscriptions are accepted for calendar year only - Cancellations are not accepted - Trimestrial

Prix public	H.T	T.V.A. 2,1 %	TOTAL TTC
FRANCE	509,30 F	10,70 F	520,00 F
CEE	509,30 F		509,30 F
ETRANGER hors CEE	540,00 F		540,00 F

Agence d'abonnement & librairie Française : remise 10 % (sur prix public HT)

	H.T	T.V.A. 2,1 %	TOTAL TTC
FRANCE	458,37 F	9,63 F	468,00 F
CEE	458,37 F	9,63 F	468,00 F
ETRANGER hors CEE	486,00 F	10,21 F	496,21 F

Agence d'abonnement & librairie CEE et hors CEE: remise 10 % (sur prix public HT)

Adresse de livraison	H.T	T.V.A. 2,1 %	TOTAL TTC
FRANCE	458,37 F	9,63 F	468,00 F
CEE	458,37 F		458,37 F
ETRANGER hors CEE	486,00 F		486,00 F

SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'ÉCOLOGIE
c/o M. ECHAUBARD,
Laboratoire de Zoologie-Institut National Agronomique
16, rue Claude-Bernard - 75231 Paris cedex 05
Tél. 33-1-44.08.18.22. - Télécopie : 33-1-44.08.18.56.
C.C.P. 30 279 62 D LA SOURCE

Les correspondances concernant la revue devront être adressées directement à :

ÉCOLOGIE
Laboratoire d'Écologie Générale
Muséum National d'Histoire Naturelle
4, avenue du Petit-Château - 91800 Brunoy
Téléphone : 33-1-60.47.92.00.
Télécopie : 33-1-60.46.57.19.

IMPORTANT** : Les cotisations et les abonnements doivent être payés directement et de façon impersonnelle à la **SOCIÉTÉ FRANÇAISE D'ÉCOLOGIE.

LOUIS-JEAN 05003 GAP cedex

BIBL. DU MUSÉUM PARIS

Dépôt légal : 874 — Novembre 1995

Source : MNHN

Source : MNHN

ÉCOLOGIE

— TOME 26 - N° 2 —

Juin 1995

SOMMAIRE

GHABBOUR, S.I.– Histoire de l'écologie en Egypte : un aperçu **67**

MAAMRI, A., CHERGUI A. & PATTEE E.– Impact des apports végétaux allochtones sur la distribution de la faune benthique dans un cours d'eau montagnard marocain, l'oued zegzel **81**

CALTRAN, H., SILAN, P. & ROUX, M.– *Ligophorus imitans* (Monogenea) ectoparasite de *Liza ramada* (Teleostei) I. Populations naturelles et variabilité morphologique **95**

CALTRAN, H., SILAN, P. & ROUX, M.– *Ligophorus imitans* (Monogenea) ectoparasite de *Liza ramada* (Teleostei) II. Variabilité morphologique et contraintes environnementales **105**

BALANÇA, G. & DE VISSCHER, M.-N.– Effets des traitements chimiques antiacridiens sur des coléoptères terrestres au nord du Burkina Faso **115**

CONTENTS

GHABBOUR, S.I.– History of ecology in Egypt, a glimpse **67**

MAAMRI, A., CHERGUI A. & PATTEE E.– The impact of allochthonous plant inputs on the distribution of benthic invertebrates in oued Zegzel, a Maroccan mountain stream ... **81**

CALTRAN, H., SILAN, P. & ROUX, M.– *Ligophorus imitans* (Monogenea) ectoparasite of *Liza ramada* (Teleostei) : I. Natural populations and morphological variability **95**

CALTRAN, H., SILAN, P. & ROUX, M.– *Ligophorus imitans* (Monogenea) ectoparasite of Liza ramada (Teleostei) II. Morphological variability and environmental constraints .. **105**

BALANÇA, G. & DE VISSCHER, M.-N.– Impact of Chemical Grasshopper Control on Non-target Terrestrial Coleoptera in Northern Burkina Faso **115**

Source : MNHN